

Gemeinsame japanisch-deutsche Forschung zu Langfrist-THG- Reduktions-Szenarien

J-D-Szenarien

Vorhabenbezeichnung:

*„KSI: Metaanalyse und Vergleich langfristiger
Low-Carbon-Szenarien in japanisch-
deutscher Kooperation“*

Förderkennzeichen: 03KE0032

Projektlaufzeit: 1.11.2016 - 31.12.2017

Berichtszeitraum: 1.01.2017 - 31.12.2017

Autorinnen/Autoren:

Sascha Samadi

Julia Terrapon-Pfaff

Stefan Lechtenböhmer

Katharina Knoop

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



**Wuppertal
Institut**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben wurde durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Projektlaufzeit: November 2016– Dezember 2017

Projektkoordination:

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH

Kontakt:

Sascha Samadi

Phone +49.202.2492 - 107

Fax +49.202.2492 - 198

E-Mail: sascha.samadi@wupperinst.org

www.wupperinst.org

Dr. Julia Terrapon-Pfaff

Phone +49.202.2492 - 309

Fax +49.202.2492 - 198

E-Mail: julia.terrapon-pfaff@wupperinst.org

www.wupperinst.org

Weitere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter:

Prof. Dr. Stefan Lechtenböhmer

Katharina Knoop

Stand

März 2018

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen	5
Tabellenverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	7
 Zusammenfassung	 9
1. Hintergrund und Projektüberblick	9
2. Methodisches Vorgehen Metanalyse Dekarbonisierungsszenarien	9
3. Ergebnisse Metanalyse japanischer und deutscher Dekarbonisierungsszenarien	10
4. Ergebnisse des japanisch-deutschen Forschungsaustauschs	18
5. Ausblick und Forschungsempfehlungen	19
 1 Einleitung	 20
2 Überblick Projektplan	21
3 Strukturierte Zusammenstellung der aktuellen Szenarioarbeiten für Deutschland und Japan	22
3.1 Überblick über Szenariostudien für Deutschland	22
3.2 Überblick über Szenariostudien für Japan	23
3.3 Charakterisierung der Szenarien	24
3.4 Kriterienbasierte Szenarienauswahl	30
4 Metanalyse Dekarbonisierungsszenarien Japan und Deutschland	36
4.1 Vergleich der verwendeten Methodik	36
4.2 Gegenüberstellung zentraler Annahmen und Ergebnisse aus den analysierten Szenarien für Japan und Deutschland	37
4.2.1 Vergleich der Annahmen zu zentralen Treibern der Energienachfrage und des Energieangebots	37
4.2.2 Treibhausgasemissionen	39
4.2.3 Primärenergiebedarf	43
4.2.4 Endenergiebedarf	47
4.2.5 Elektrizitätssektor	50
4.3 Vergleich der Dekarbonisierungsstrategien für Japan und Deutschland in den analysierten Szenarien	53
4.3.1 Reduktion des Endenergiebedarfs	53
4.3.2 Elektrifizierung	57
4.3.3 Ausbau erneuerbarer Energien	59
4.3.4 Atomenergie	65
4.3.5 Import CO ₂ -freier bzw. -neutraler Energieträger	65
4.3.6 Einsatz von CCS bzw. BECCS	66
4.4 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	68
5 Japanisch-deutscher Forschungsaustausch	71
5.1 Präsentation der Ergebnisse	71

5.1.1	<i>Präsentation beim „International Forum for Sustainable Asia and the Pacific 2017“ (ISAP 2017)</i>	71
5.1.2	<i>Präsentation und Diskussion der Studienergebnisse beim 23rd AIM International Workshop</i>	72
5.1.3	<i>Peer Review-Artikel in Journal „Carbon Management“ eingereicht</i>	73
5.2	Forschungstreffen mit dem japanischen Partnerprojekt	74
6	Diskussion und Ausblick	77
7	Forschungsempfehlungen	80
8	Literaturverzeichnis	83

Verzeichnis von Abkürzungen, Einheiten und Symbolen

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
IEA	International Energy Agency
Tab.	Tabelle
THG	Treibhausgas
WI	Wuppertal Institut für Klima Umwelt, Energie GmbH

Einheiten und Symbole

%	Prozent
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -Äq.	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
Mt	Megatonne
t	Tonne

Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1	Übersicht über seit 2011 veröffentlichte Szenariostudien zur Dekarbonisierung Deutschlands -----	23
Tab. 3-2	Übersicht über seit 2011 veröffentlichte (englischsprachige) Szenariostudien zur Dekarbonisierung Japans-----	24
Tab. 3-3	Charakterisierung der Szenarien für Deutschland -----	25
Tab. 3-4	Charakterisierung der Szenarien für Japan -----	27
Tab. 4-1	Szenarioannahmen zur Bevölkerung (in Mio.) -----	37
Tab. 4-2	Japan-Szenarien: Unterstellte, endenergiebedarfsreduzierende Verhaltens- bzw. Lebensstiländerungen (gegenüber einer Referenzentwicklung)-----	56
Tab. 4-3	Deutschland-Szenarien: Unterstellte, endenergiebedarfsreduzierende Verhaltens- bzw. Lebensstiländerungen (gegenüber einer Referenzentwicklung)-----	56
Tab. 6-1	Übersicht Dekarbonisierungsstrategien japanische und deutsche Szenarien -----	79

Abbildungsverzeichnis

Abb. 0-1	Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in Japan und Deutschland 2050 (in PJ) (ohne nicht-energetischen Verbrauch)-----	11
Abb. 0-2	Endenergieproduktivität in Japan- und Deutschland-Szenarien (in %) -----	13
Abb. 0-3	Anteil Strom und Wasserstoff am Endenergieverbrauch in Japan- und Deutschland Szenarien-----	15
Abb. 0-4	Erneuerbare Energien in der Stromerzeugung Japan- und Deutschlandszenarien 2050 (in TWh)-----	16
Abb. 4-1	Japanische Szenarien: Annahmen zum BIP (real, Index, 2010 = 100)-----	38
Abb. 4-2	Deutsche Szenarien: Annahmen zum BIP (real, Index, 2010 = 100)-----	38
Abb. 4-3	Japanische Szenarien: Energiebedingte CO ₂ -Emissionen (Veränderung gegenüber 1990)-----	40
Abb. 4-4	Deutsche Szenarien: Energiebedingte CO ₂ -Emissionen (Veränderung gegenüber 1990)-----	40
Abb. 4-5	Japanische Szenarien: Energiebedingte CO ₂ -Emissionen (in t/Kopf)-----	42
Abb. 4-6	Deutsche Szenarien: Energiebedingte CO ₂ -Emissionen (in t/Kopf) -----	42
Abb. 4-7	Japanische Szenarien: Primärenergieverbrauch (in PJ) (ohne nicht-energetischen Verbrauch)-----	45
Abb. 4-8	Deutsche Szenarien: Primärenergieverbrauch (in PJ) (ohne nicht-energetischen Verbrauch)-----	45
Abb. 4-9	Japanische Szenarien: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (in PJ) (ohne nicht-energetischen Verbrauch)-----	46
Abb. 4-10	Deutsche Szenarien: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (in PJ) (ohne nicht-energetischen Verbrauch)-----	46
Abb. 4-11	Deutsche Szenarien: Endenergiebedarf nach Energieträgern (in PJ) -----	48
Abb. 4-12	Japanische Szenarien: Endenergiebedarf im Verkehrssektor nach Energieträgern (in PJ)-----	49
Abb. 4-13	Deutsche Szenarien: Endenergiebedarf im Verkehrssektor nach Energieträgern (in PJ)-----	49
Abb. 4-14	Japanische Szenarien: Stromerzeugung nach Energieträgern (in TWh, ohne Importe) -----	51
Abb. 4-15	Deutsche Szenarien: Stromerzeugung nach Energieträgern (in TWh, ohne Importe) -----	51
Abb. 4-16	Japanische Szenarien: Stromerzeugung nach Energieträgern (in %, ohne Importe) -----	52
Abb. 4-17	Japanische Szenarien: Stromerzeugung nach Energieträgern (in %, ohne Importe) -----	52
Abb. 4-18	Endenergieproduktivität in Japan-Szenarien (in %)-----	54
Abb. 4-19	Endenergieproduktivität in Deutschland-Szenarien (in %) -----	54
Abb. 4-20	Japanische Szenarien: Anteil Strom und Wasserstoff am Endenergieverbrauch -----	58
Abb. 4-21	Deutsche Szenarien: Anteil Strom und Wasserstoff und/oder synthetische Kraftstoffe am Endenergieverbrauch -----	58
Abb. 4-22	Japanische Szenarien: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (in %) -----	61
Abb. 4-23	Deutsche Szenarien: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (in %)-----	61
Abb. 4-24	Japanische Szenarien: Erneuerbare Energien im Primärenergieverbrauch (in PJ) -----	62
Abb. 4-25	Deutsche Szenarien: Erneuerbare Energien im Primärenergieverbrauch (in PJ)-----	62
Abb. 4-26	Japanische Szenarien: Erneuerbare Energien in der Stromerzeugung (in TWh) -----	64

Abb. 4-27	Deutsche Szenarien: Erneuerbare Energien in der Stromerzeugung (in TWh)-----	64
Abb. 4-28	Japanische und deutsche Szenarien: Abgeschiedenes CO ₂ (in Mt/a) -----	67
Abb. 5-1	Eindrücke vom „International Forum for Sustainable Asia and the Pacific 2017“ (ISAP 2017), Japan -----	71
Abb. 5-2	Eindrücke 23 rd AIM International Workshop 2017, Japan -----	73

Zusammenfassung

1. Hintergrund und Projektüberblick

Nach den G7-Beschlüssen von Elmau aus dem Sommer 2015 und dem Klimaabkommen von Paris Ende 2015 ist das Thema der langfristigen Dekarbonisierung der Energiesysteme in den Vordergrund der politischen und wissenschaftlichen Diskussion gerückt. Nun stellt sich international die Frage nach der Umsetzung der getroffenen Vereinbarungen. Neben der Debatte um die kurz- und mittelfristigen Ziele, d. h. bis ca. 2030, wird es aber auch darum gehen, den Blick der internationalen Gemeinschaft noch stärker auf langfristige Ziele sowie Pläne und Aktionsprogramme zu einer weitgehenden Dekarbonisierung der nationalen Energiesysteme und Ökonomien insgesamt zu richten. Hierbei geht es vor allem um die Umsetzung des Beschlusses der G7 aus Elmau vom Juni 2015, in dem diese sich verpflichtet haben, langfristige nationale Low-Carbon-Strategien zu erstellen. Eine ähnliche Vorgabe enthält auch das „Paris Agreement“, in dem in Artikel 4, Paragraph 15, gefordert wird, dass alle Länder „long-term greenhouse gas emission development strategies“ entwerfen und kommunizieren sollen.

Für Deutschland wurden in den vergangenen Jahren bereits zahlreiche Klimaschutzenszenarien mit längeren Zeithorizonten erstellt. Ihre Diskussion bleibt aber bislang im Wesentlichen auf die deutschsprachige Forschungslandschaft beschränkt. Gleichzeitig gibt es auch eine Reihe japanischer Klimaschutzenszenarien, die sich, wenn auch technologisch weniger differenziert, mit der weitgehenden Dekarbonisierung des Energiesystems beschäftigen.

Ein wichtiges Ziel des Projektes ist vor diesem Hintergrund die Unterstützung eines deutsch-japanischen Austausches zu langfristigen Dekarbonisierungsszenarien. Basierend auf einer Metaanalyse verschiedener ambitionierter Klimaschutzenszenarien und der Aufbereitung des inhaltlichen und methodischen Fachwissens auf japanischer und deutscher Seite sollen beidseitige Lernprozesse angestoßen und unterstützt werden.

2. Methodisches Vorgehen Metanalyse Dekarbonisierungsszenarien

Zu Beginn des Projektes wurde in einem ersten Schritt eine umfangreiche Sichtung der vorhandenen Szenarioliteratur für Deutschland und Japan, mit besonderem Fokus auf das Treibhausgasemissionspotenzial bis zum Jahr 2050, durchgeführt. Das Ergebnis der Literaturrecherche bestätigt die Annahme, dass deutlich mehr ambitionierte und langfristige Szenarioarbeiten für Deutschland existieren als für Japan. Des Weiteren zeigt sich, dass die Analyseschwerpunkte der Szenarien – sowohl für Deutschland als auch für Japan – vielfach auf den THG-Emissionen des Energiesystems liegen. Die THG-Emissionen anderer Sektoren werden seltener und wenn, dann oft in geringerer Detailtiefe berücksichtigt.

Ausgehend von den Erkenntnissen dieser ersten Analyse der Szenarioliteratur wurde entschieden, dass Studien, die für eine Detailuntersuchung in Frage kommen, gewisse Mindestanforderungen in Form bestimmter Kriterien erfüllen müssen. Diese Kriterien sind unter anderem „Zeithorizont bis mindestens 2050“, „hohes Klimaschutz-Ambitionsniveau“, „hoher Detailgrad“ sowie „Einbezug weiterer Sektoren neben dem

Energiesektor“. Basierend auf diesen Kriterien wurde eine Auswahl der im weiteren Projektverlauf im Detail zu analysierenden und zu vergleichenden Szenarien für Deutschland und Japan getroffen.

Im nächsten Schritt wurden die Analyseparameter bestimmt und der Auswertungsrahmen entwickelt, auf dessen Basis die Dekarbonisierungsstrategien, die den einzelnen Szenarien zugrunde liegen, im Detail untersucht und bewertet werden können. Im Anschluss wurden dann die japanischen und deutschen Szenarien im Hinblick auf diese gewählten Parameter ausgewertet. Basierend auf den Ergebnissen dieser Analyse konnten darauffolgend die deutschen und japanische Szenarioarbeiten bezüglich methodischer Unterschiede, zentraler Annahmen und Ergebnisse sowie den jeweils zugrunde liegenden Dekarbonisierungsstrategien verglichen und diskutiert werden.

3. Ergebnisse Metanalyse japanischer und deutscher Dekarbonisierungsszenarien

3.1 Vergleich der Szenariomethoden

In einem ersten Schritt wurden die angewendeten Methoden und Modelle, die zur Erstellung der japanischen und deutschen Szenarien eingestetzt wurden, verglichen. Dabei wird deutlich, dass die verwendete Methodik für die Entwicklung der Energieszenarien in allen analysierten Studien ähnlich ist. Sowohl die japanischen als auch die deutschen Szenarien wurden auf Grundlage sektorspezifischer und technologisch detaillierter bottom-up-Modelle entwickelt. Die zukünftige Energienachfrage in den verschiedenen Sektoren wurde dabei auf Grundlage einer Reihe von Annahmen abgeleitet, einschließlich derer zur zukünftigen Bevölkerungsentwicklung, zum zukünftigen BIP-Wachstum und zur zukünftigen Verbreitung neuer Technologien im Bereich der Energieumwandlung und der Endverbraucher.

Die Studien haben im Allgemeinen einen Simulationsmodellierungsansatz angewandt, wobei jedoch der Einsatz konventioneller Kraftwerke typischerweise mit Hilfe von Optimierungsmodellen (Kostenminimierungsmodellen) bestimmt wurde. Der Modellierungsrahmen für alle analysierten Studien ist daher sehr ähnlich und die Unterschiede bei den Ergebnissen der Szenarien können in hohem Maße auf Unterschiede bei den Input-Annahmen wie Technologieverfügbarkeit und -diffusion zurückgeführt werden.

3.2 Vergleich zentraler Annahmen und Ergebnisse

Die Gegenüberstellung der Annahmen zu den zentralen Treibern der Energienachfrage - Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum – zeigt, dass in den analysierten Szenarien für Japan und Deutschland grundsätzlich ähnliche Entwicklungen erwartet werden. Für beide Länder wird in den kommenden Jahrzehnten von einem Rückgang der Bevölkerungszahlen ausgegangen, während der Anteil älterer Menschen in der Bevölkerung ansteigt. Diese Änderungen in der Bevölkerungsstruktur können wiederum Rückwirkungen auf die Energienachfrage und

die Wirtschaftlichkeit von Infrastrukturen haben. Im Hinblick auf die Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts (BIP) unterstellen sowohl alle japanischen als auch alle deutschen Szenarien ein weiteres Wachstum, allerdings in teilweise unterschiedlichem Ausmaß. In Verbindung mit der zuvor genannten rückläufigen Bevölkerungsentwicklung bedeutet dies einen (weiteren) deutlichen Anstieg der Pro-Kopf-Wirtschaftsleistung bis zum Jahr 2050.

In Bezug auf das Level der angestrebten Dekarbonisierung werden, entsprechend des zentralen Auswahlkriteriums der Szenarien, in allen analysierten Szenarien bis 2050 (und gegenüber 1990) Minderungen der Treibhausgasemissionen von mindestens 80 % und bis zu 100 % erreicht. In den Deutschland-Szenarien ist der Rückgang in allen Szenarien mittelfristig ähnlich und liegt in den vier Szenarien, für die Angaben für 2030 vorliegen, bis 2030 zwischen 55 und 67 %. Im Vergleich dazu gibt es in Japan bezüglich der mittelfristigen Entwicklung der Treibhausgasemissionen deutlich größere Unterschiede zwischen den Szenarien, die Spannweite des Rückgangs liegt hier bis 2030 bei 13 bis 46 %. Die großen Unterschiede bei den japanischen Szenarien für 2030 hängen im Wesentlichen mit der Frage zusammen, ob bereits bis 2030 der Einsatz von Kohle, vor allem in der Stromerzeugung, reduziert werden kann.

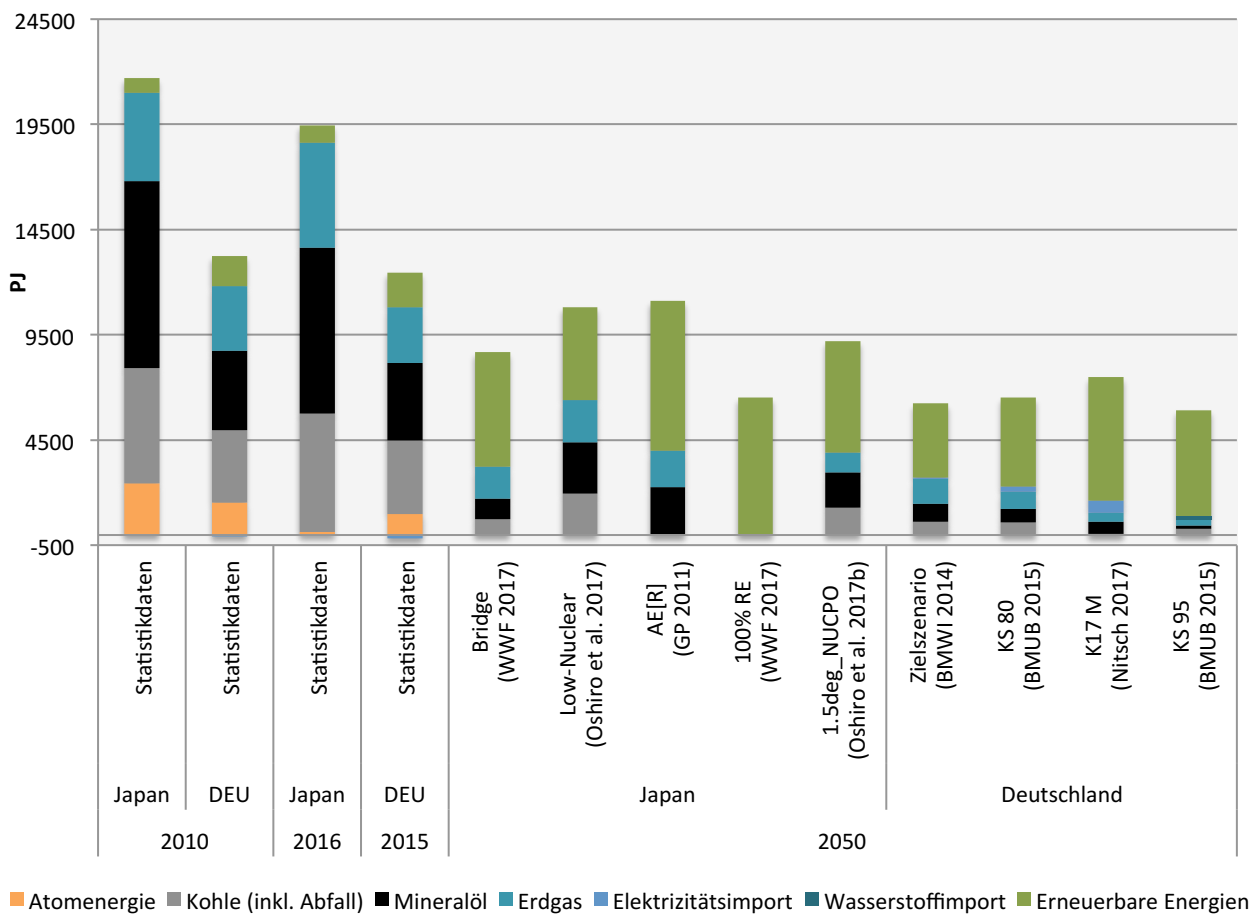


Abb. 0-1 Primärenergieverbrauch nach Energieträgern in Japan und Deutschland 2050 (in PJ) (ohne nicht-energetischen Verbrauch)

Der Primärenergieverbrauch sinkt sowohl in allen Deutschland- als auch in allen Japan-Szenarien kontinuierlich und deutlich. Relativ gesehen beträgt der Rückgang in den Japan-Szenarien zwischen 2010 und 2050 43 % bis 52 % und in den Deutschland-Szenarien 43 % bis 55 %. Die wesentlichen Gründe für die Reduzierung des Primärenergiebedarfs sind angenommene Fortschritte bei der Endenergieeffizienz sowie der Ersatz thermischer Kraftwerke durch nicht-thermische erneuerbare Stromerzeugung. Mitte des Jahrhunderts dominieren die erneuerbaren Energien im Primärenergieverbrauch. Sie erreichen in den meisten untersuchten Szenarien einen Anteil von weit über 50 %.

In Bezug auf den Endenergiebedarf wurde aufgrund unterschiedlicher Sektor-Definitionen bis auf den Verkehrssektor kein direkter Vergleich zwischen Japan und Deutschland vorgenommen. Im Verkehrssektor zeigt sich, dass sowohl innerhalb der beiden Länder als auch zwischen Japan und Deutschland relativ große Unterschiede bei den Strategien zur mittel- bis langfristigen Dekarbonisierung bestehen. So wird beispielsweise das Ausmaß der Elektromobilität, die langfristige Bedeutung von Biokraftstoffen und die zukünftige Nutzung von Wasserstoff und/oder anderen synthetischen Kraftstoffen teilweise sehr unterschiedlich bewertet.

Für den Elektrizitätssektor sind grundsätzliche Ähnlichkeiten in der Entwicklung zu erkennen, sowohl zwischen den Szenarien innerhalb eines Landes als auch im Ländervergleich Japan und Deutschland. Zum einen verlieren sowohl Kohle als auch Atomkraft bereits mittelfristig (bis 2030) deutlich an Bedeutung. Der Anteil des Atomstroms liegt entsprechend des beschlossenen Atomausstiegs im Jahr 2022 in Deutschland bereits vor 2030 bei null. Für Japan liegt der im Jahr 2030 erwartete Anteil der Atomenergie an der Stromerzeugung in Abhängigkeit des Szenarios zwischen null und 18 % und somit unter den Werten von 2010 vor dem Atomunfall in Fukushima, als noch 25 % der Elektrizität in Japan von Atomkraftwerken erzeugt wurden. Im Jahr 2050 wird in keinem der ausgewählten japanischen Szenarien mehr Atomenergie genutzt.

Weitere Gemeinsamkeiten in (fast) allen Szenarien für Deutschland und Japan sind der Rückgang der Kohlenutzung, die mittelfristig bestehende Bedeutung von Erdöl aber vor allem Erdgas als Energieträger, sowie der kontinuierliche Anstieg des Anteils erneuerbarer Energien. Neben diesen Gemeinsamkeiten zeigen sich aber auch deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien für Deutschland und Japan, aber auch zwischen den Szenarien für die einzelnen Länder. So zeigen sich besonders starke Differenzen in Bezug auf den Umfang und die Zusammensetzung der genutzten fossilen Energieträger im Jahr 2050.

3.3 Vergleich der Dekarbonisierungsstrategien für Japan und Deutschland

Nach dem Vergleich der zentralen Annahmen und Ergebnisse wurden die den Szenarien zugrundeliegenden Dekarbonisierungsstrategien näher analysiert. Die hier diskutierten zentralen Dekarbonisierungsstrategien fokussieren vor allem auf Reduzierungen der Treibhausgasemissionen im Energiesystem als größtem Verursacher dieser Emissionen, auch weil hier der Analyseschwerpunkt der Szenarien – sowohl für Deutschland als auch für Japan – liegt. Im Detail wurden im Rahmen dieser Studie die folgenden Dekarbonisierungsstrategien detailliert betrachtet:

Reduzierung des Endenergiebedarfs, Elektrifizierung, Ausbau erneuerbarer Energien, Zukunft der Atomenergie, Import CO₂-freier bzw. -neutraler Energieträger und der Einsatz von Technologien zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS bzw. BECCS).

Reduktion des Endenergiebedarfs

In allen betrachteten japanischen wie auch deutschen Klimaschutzszenarien wird bis 2050 eine deutliche Reduktion des Endenergiebedarfs unterstellt. Zwischen 2010 und 2050 beträgt der Rückgang in den Deutschland-Szenarien zwischen 41 und 57 % und in den Japan-Szenarien zwischen 39 und 57 %. Zentrale Strategien um diese Reduzierung zu erreichen sind zum einen die Verbesserungen der Endenergieeffizienz und zum anderen Verhaltensänderungen.

Über den Indikator der durchschnittlichen jährlichen Steigerungsrate der Endenergieproduktivität können Rückschlüsse auf Verbesserungen der Endenergieeffizienz gezogen werden. Alle betrachteten Szenarien erwarten in Zukunft deutlich stärkere Steigerungen der Endenergieproduktivität als in der Vergangenheit.

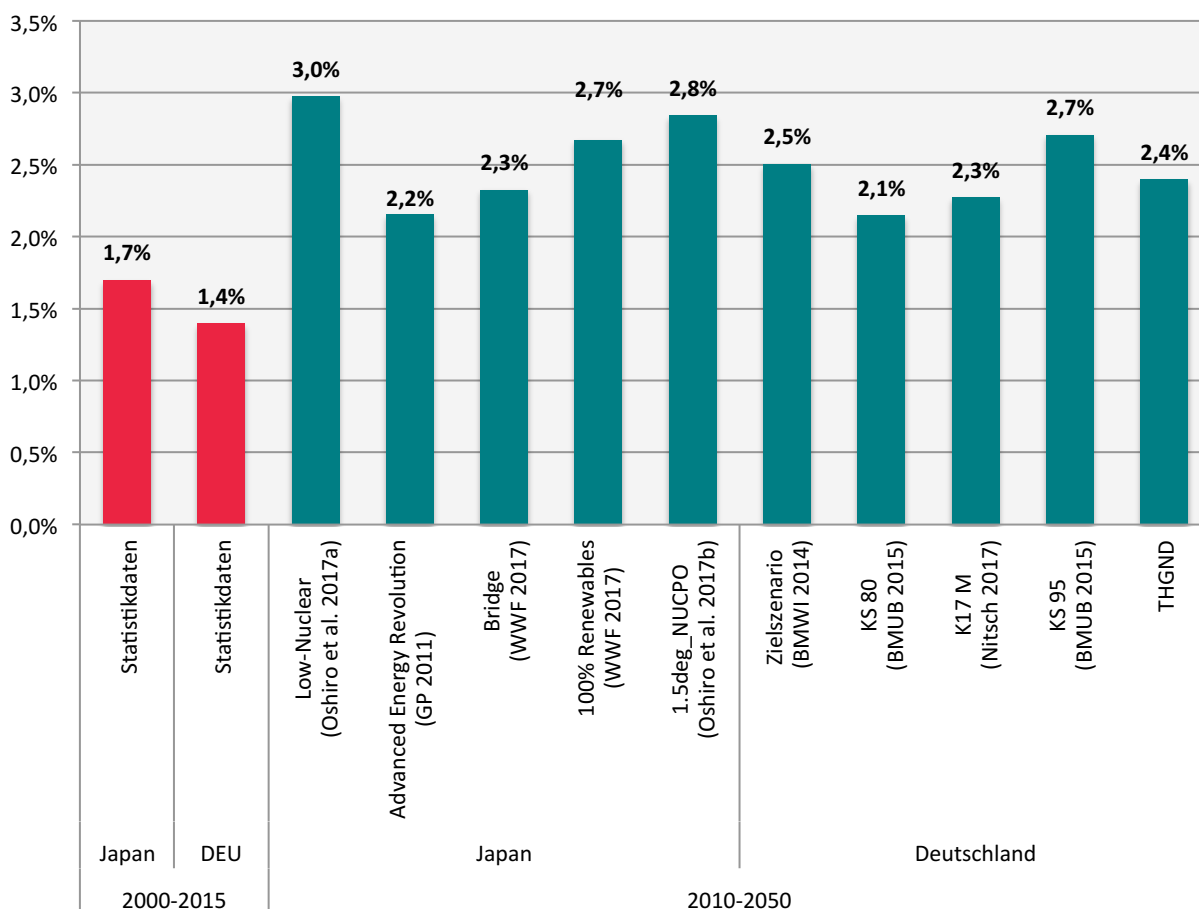


Abb. 0-2 Endenergieproduktivität in Japan- und Deutschland-Szenarien (in %)

Grundsätzlich wird in den untersuchten Szenarien betont, dass diese stärkeren Verbesserungen durch eine beschleunigte Verbreitung hocheffizienter Technologien sowie durch den absehbaren technischen Fortschritt erreicht werden könnten. Interessanterweise ist bei den Deutschland-Szenarien kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Klimaschutz-Ambitionsniveau und der Verbesserung der durchschnittlichen Endenergieproduktivität zu erkennen. Bei den Japan-Szenarien ist indes ein solcher Zusammenhang, mit Ausnahme eines Szenarios, zu beobachten. Neben Effizienzverbesserungen können der Endenergieverbrauch und damit mittelbar auch die Treibhausgasemissionen durch eine Verringerung oder Verlagerung der Nachfrage gemindert werden. In der Analyse zeigt sich, dass die untersuchten Szenarien überwiegend Verhaltensänderungen im Transportsektor unterstellen, um dort die Energienachfrage zu reduzieren. Verhaltensänderungen in andere Sektoren werden hingegen nicht oder nur sehr begrenzt unterstellt.

Elektrifizierung

Die Elektrifizierungsstrategie, d. h. die Strategie, in den Endenergiesektoren fossile Energieträger in zunehmendem Maße durch Strom bzw. durch aus Strom erzeugte Energieträger zu ersetzen, spielt in allen betrachteten Klimaschutzszenarien beider Länder eine bedeutende Rolle. So steigt in den japanischen Szenarien der Anteil der Summe von Strom und aus Strom erzeugten Energieträgern am gesamten Endenergieverbrauch von gegenwärtig (Jahr 2015) 25 % auf 33 bis 49 % im Jahr 2050 an. In den Deutschland-Szenarien wächst der entsprechende Anteil von 21 % im Jahr 2015 auf 29 bis 100 % bis Mitte des Jahrhunderts. Es zeigt sich also insbesondere bei den Deutschland-Szenarien eine große Spannweite bezüglich der zukünftigen Elektrifizierung, wobei sich hier ein klarer positiver Zusammenhang zwischen Klimaschutz-Ambitionsniveau und Ausmaß der Elektrifizierung zeigt. Dieser Zusammenhang ist bei den Japan-Szenarien nur in geringem Maße ausgeprägt.

Während zudem in Bezug auf die analysierten Deutschland-Szenarien ersichtlich ist, dass nur in den ambitionierteren Szenarien mit einer avisierten THG-Minderung von 95 % auch Wasserstoff und/oder synthetische Kraftstoffe in relevantem Maße zum Einsatz kommen, ist auch dieser Zusammenhang in den untersuchten Japan-Szenarien nicht ersichtlich. In diesen wird im „Bridge“-Szenario (mit „nur“ 82 %-Emissionsreduktion bis 2050 gegenüber 1990) Wasserstoff in relevantem Maße – insbesondere im Verkehrssektor – eingesetzt, während es im ambitioniertesten „1.5deg_NUCPO“ (mit „Netto-Null“-Emissionen im Jahr 2050) nur eine sehr untergeordnete Rolle im Endenergieverbrauch spielt. Im „1.5deg_NUCPO“-Szenario wird hingegen Effizienz, dem Einsatz von Biomasse sowie der Nutzung von CCS (im Industriesektor) eine besonders große Rolle bei der Minderung der Emissionen der endenergieverbrauchenden Sektoren zugewiesen.

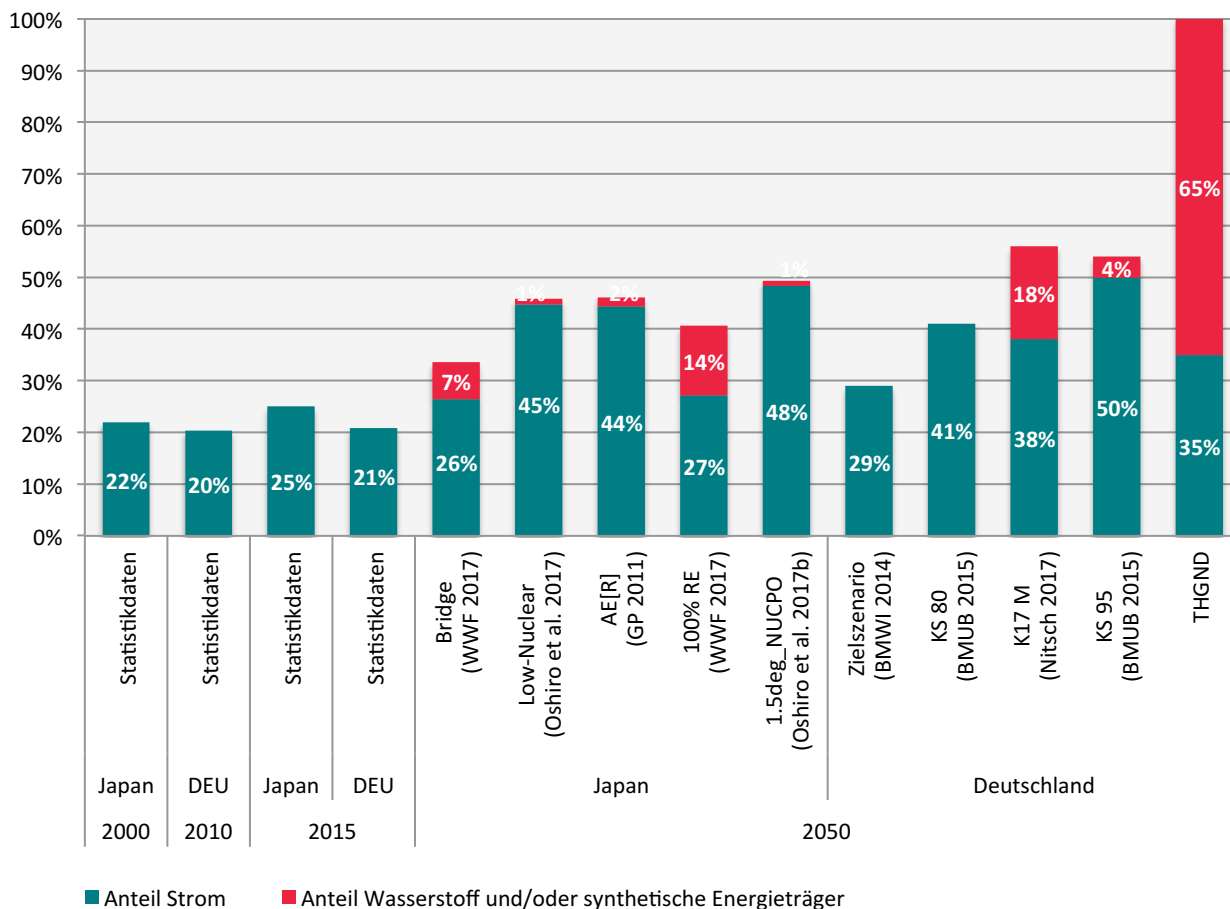


Abb. 0-3 Anteil Strom und Wasserstoff am Endenergieverbrauch in Japan- und Deutschland Szenarien

Ausbau erneuerbarer Energien

Eine gegenüber heute weitaus stärkere Nutzung erneuerbarer Energien stellt in allen analysierten Szenarien eine zentrale Strategie zur Minderung der energiebedingten THG-Emissionen dar. Der Anteil der erneuerbaren Energien im Primärenergieverbrauch steigt in den japanischen Szenarien von 4 % im Jahr 2016 auf mindestens 41 % (Szenario „Bridge“, WWF 2017) und bis zu 100 % (Szenario „100% RE“, WWF 2017) bis Mitte des Jahrhunderts. Die Erneuerbaren-Anteile in den anderen drei japanischen Szenarien liegen im Jahr 2050 bei 57 bis 64 %.

In den Deutschland-Szenarien steigt der Anteil der erneuerbaren Energien im Primärenergieverbrauch von 13 % im Jahr 2017 auf 56 % bis 85 % im Jahr 2050 an. Diese Anteile beinhalten nicht den Nettoimport von Strom und von Wasserstoff bzw. synthetischen Kraftstoffen. Die Szenarien nehmen an, dass diese Energieträger im Ausland Mitte des Jahrhunderts überwiegend oder vollständig auf Grundlage erneuerbarer Energien bereitgestellt werden.

In Hinblick auf die analysierten Deutschland-Szenarien lässt sich ein klarer positiver Zusammenhang zwischen Klimaschutz-Ambitionsniveau und Anteil der erneuerba-

ren Energien am Primärenergieverbrauch feststellen. Dies ist im Hinblick auf die Japan-Szenarien nicht in ähnlich eindeutiger Weise festzustellen.

In den meisten der analysierten Szenarien beider Länder liegen bis Mitte des Jahrhunderts die größten Potenziale bei der Biomasse, der Windenergie sowie der Solarenergie. Die genauen Beiträge einzelner erneuerbarer Energieträger weichen teilweise jedoch deutlich zwischen den Szenarien ab. Dies gilt insbesondere für die japanischen Szenarien und speziell in Hinblick auf die zukünftige Bedeutung der Biomasse sowie der Geothermie.

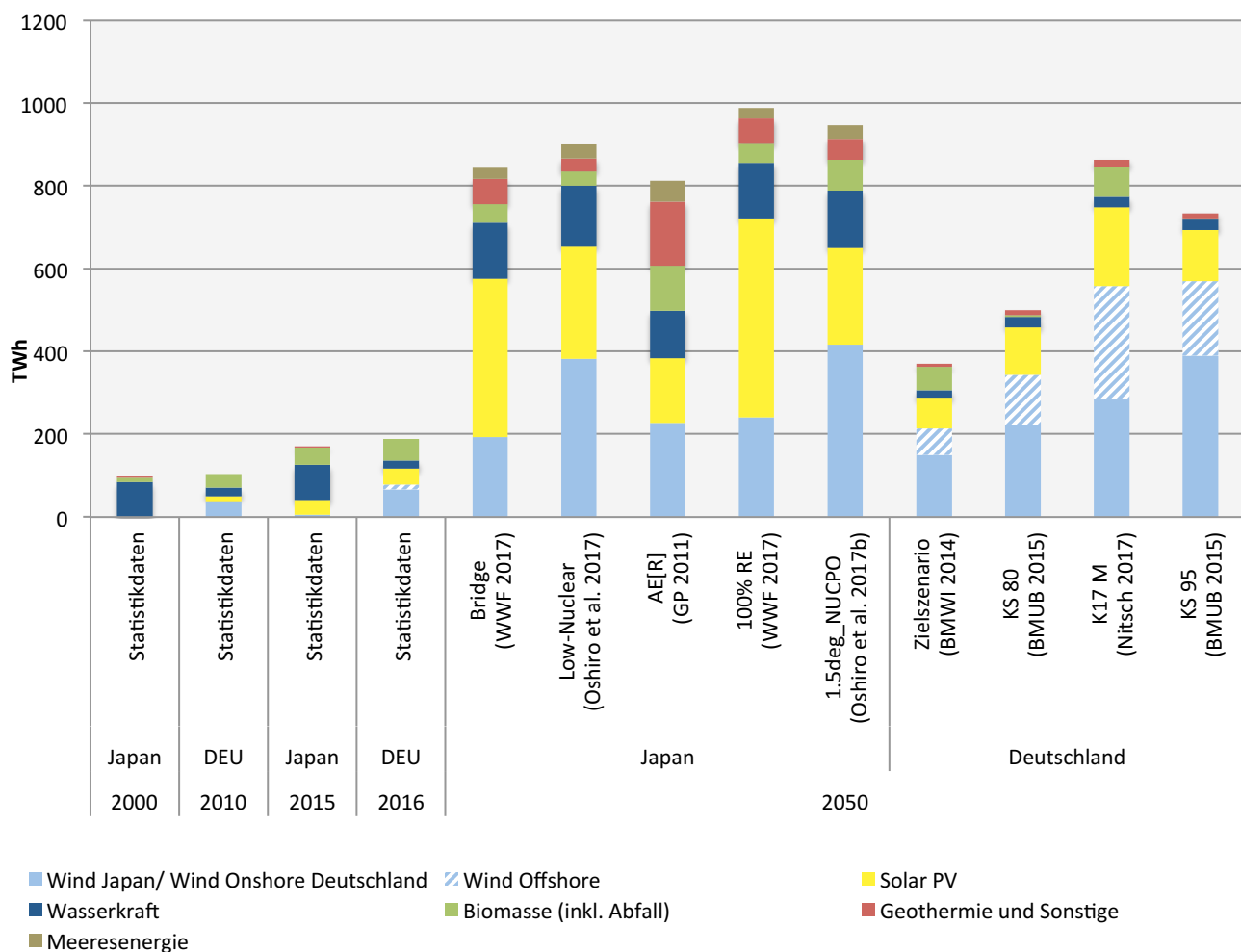


Abb. 0-4 Erneuerbare Energien in der Stromerzeugung Japan- und Deutschlandszenarien 2050 (in TWh)

Die Stromerzeugung basiert in allen betrachteten Szenarien im Jahr 2050 ganz überwiegend auf erneuerbaren Energiequellen. Besonders in den Deutschland-Szenarien dominiert dabei die Stromerzeugung aus Windenergie- und PV-Anlagen (s. Abbildung X). Dieser Umstand führt dazu, dass sich im Jahr 2050 sehr hohe Anteile fluktuierender erneuerbarer Energien an der gesamten Stromerzeugung ergeben, selbst wenn die Nettostromimporte berücksichtigt und als nicht-fluktuierend betrachtet werden. Der Anteil der fluktuierenden erneuerbaren Energien, der 2015 in Japan bei 4 % und in Deutschland bereits bei 20 % lag, beträgt im Jahr 2050 in den Deutschland-Szenarien zwischen 63 % („Zielszenario“, BMWi 2014) und 91 % (Sze-

nario „KS 95“, BMUB 2015), und in den Japan-Szenarien „nur“ 40 % (Szenario „AE[R]“, Greenpeace 2011) bis 73 % (Szenario „100% RE“, WWF 2017). Dieser Unterschied zwischen den Japan- und den Deutschland-Szenarien kann zum einen auf unterschiedliche Erneuerbare-Potenziale zurückgeführt werden, vermutlich aber zusätzlich auch auf die Tatsache, dass Deutschland im Gegensatz zu Japan in ein länderübergreifendes Stromnetz eingebunden ist, was die Integration hoher Anteile fluktuierender erneuerbarer Energien erleichtert.

Atomenergie

In allen betrachteten Szenarien wird die Atomenergie als mögliche Klimaschutzoption im Jahr 2050 nicht mehr genutzt. In den Deutschland-Szenarien findet ein Ausstieg analog zur gesetzlichen Regelung Ende 2022 statt, während in den meisten der analysierten Japan-Szenarien ein vollständiger Ausstieg erst zwischen 2030 und 2050 unterstellt wird. Ein Neubau von Atomkraftwerken wird auch in den japanischen Szenarien nicht angenommen. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass es im Gegensatz zu Deutschland in Japan keinen ähnlichen gesellschaftlichen Konsens für einen Ausstieg aus der Atomenergienutzung gibt. Folglich existieren auch verschiedene Szenariostudien, die einen weiteren Betrieb der meisten bestehenden (und derzeit vielfach nicht in Betrieb befindlichen) Atomkraftwerke und teilweise auch einen Neubau entsprechender Kraftwerke vorsehen. Diese Szenarien wurden im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch nicht analysiert, hauptsächlich weil die meisten dieser – in einigen Fällen vom japanischen Wirtschaftsministerium in Auftrag gegebenen – Szenarien nur eine mittelfristige Perspektive beschreiben und nicht bis Mitte des Jahrhunderts reichen.

Import CO₂-freier bzw. -neutraler Energieträger

Eine weitere Strategie zur Verringerung der energiebedingten THG-Emissionen besteht in dem Import von solchen Energieträgern, die zumindest während ihrer Nutzung CO₂ frei bzw. -neutral sind.¹ Hierzu zählen Biomasse, Strom, Wasserstoff und synthetische Energieträger. Alle analysierten Deutschland-Szenarien nehmen an, dass Mitte des Jahrhunderts CO₂-freie bzw. -neutrale Energieträger importiert werden, allerdings in unterschiedlicher Art und in unterschiedlichem Umfang. In allen Deutschland-Szenarien kommt es Mitte des Jahrhunderts zu einem Nettostromimport. Zwei weitere Szenarien (Szenario „KS 95“, BMUB 2015 sowie Szenario „THGND“, UBA 2014) sehen zudem den Import von Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen vor. Eines der Szenarien („Zielszenario“, BMWi 2014) nimmt zudem an, dass Biomasse in einem Umfang von etwas über 200 PJ importiert wird.

Interessanterweise wird hingegen in keinem der untersuchten Japan-Szenarien ein Import CO₂-freier bzw. -neutraler Energieträger angenommen. Es wird stattdessen unterstellt, dass der benötigte Strom und die benötigte Biomasse vollständig über die

¹ Um tatsächlich einen bedeutenden Nutzen für den globalen Klimaschutz zu entfalten, müssen die importierten Energieträger natürlich auch in Bezug auf ihre Erzeugungs- bzw. Umwandlungsphase (nahezu) CO₂-frei bzw. -neutral bereitgestellt werden. Dass dies nicht zuletzt in Hinblick auf die Biomasse eine große Herausforderung darstellt bzw. deren nachhaltiges Potenzial einschränkt, ist hinlänglich bekannt und soll an dieser Stelle nicht im Detail diskutiert werden.

inländischen Potenziale gedeckt werden können und, dass zudem der in den Szenarien benötigte Wasserstoff aus inländischer Stromerzeugung generiert werden kann.

Einsatz von Technologien zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung (CCS)

Der Einsatz von Technologien zur Abscheidung, zum Transport und zur Speicherung von CO₂ (Carbon Capture and Storage, CCS) ist eine weitere Strategie zur Minderung der CO₂-Emissionen. In den meisten der hier analysierten Szenarien wird der Einsatz dieser Technologie jedoch nicht angenommen. Lediglich in zwei Japan-Szenarien („Low-Nuclear“, Oshiro et al. 2017a und „1.5deg_NUCPO“, Oshiro et al. 2017b) sowie in einem Deutschland-Szenario („KS 95“, BMUB 2015) kommt CCS bis Mitte des Jahrhunderts zum Einsatz. In allen diesen drei Szenarien werden im Jahr 2050 energie- und prozessbedingte CO₂-Emissionen aus der Industrie abgeschieden und gespeichert, und zwar in einem Umfang von 40 bis 70 Mt pro Jahr.² In den beiden Japan-Szenarien wird zusätzlich angenommen, dass CCS auch in fossilen Kraftwerken (Szenario „Low-Nuclear“, Oshiro et al. 2017a) bzw. in fossilen und v. a. Biomasse-Kraftwerken (Szenario „1.5deg_NUCPO“, Oshiro et al. 2017b) zum Einsatz kommt, um die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung zu mindern.

Im Japan-Szenario „1.5deg_NUCPO“ (Oshiro et al. 2017b) sowie im Deutschland-Szenario „KS 95“ (BMUB 2015) werden durch die Verwendung von Biomasse im Kraftwerkssektor bzw. in der Industrie in Kombination mit CCS auch „negative“ CO₂-Emissionen realisiert (sog. „bio-energy carbon capture and storage“, BECCS). Diese negativen Emissionen leisten in beiden Szenarien einen wichtigen Part, um die sehr ambitionierten THG-Emissionsreduktionen in diesen beiden Szenarien zu realisieren.

4. Ergebnisse des japanisch-deutschen Forschungsaustauschs

Neben der Analyse langfristiger Dekarbonisierungsstrategien war ein weiterer Schwerpunkt des Projekts der intensive Austausch mit verschiedenen japanischen Wissenschaftlern und Institutionen. Zum einen haben regelmäßige Treffen mit dem japanischen Partnerprojekt stattgefunden, in denen der Verlauf und die Ergebnisse der laufenden Projekte diskutiert werden konnten. Auf der anderen Seite wurde aber auch aktiv Kontakt zu weiteren japanischen Institutionen gesucht, die sich mit langfristigen Strategien zur Dekarbonisierung und Szenariomodellierung in Japan beschäftigen. Das Projektteam des Wuppertal Institutes hat im Rahmen dieses Austausches unter anderem am „International Forum for Sustainable Asia and the Pacific“ (ISAP 2017) zum Thema „Transformational Changes: Putting Sustainability at the Heart of Action“ vom 25. bis 26. Juli 2017 in Yokohama, Japan sowie am 23rd AIM International Workshop vom 27. bis 28. November 2017 in Tsukuba, Japan teilgenommen. Zudem wurde ein Peer Review-Artikel im Journal „Carbon Management“ zum Thema „Long-term low greenhouse gas emission development strategies for achieving the 1.5 °C target – Insights from a comparison of German bottom-up ener-

² Zum Vergleich: Derzeit belaufen sich die gesamten energie- und prozessbedingten Emissionen des Industriesektors in Deutschland auf rund 125 Mt pro Jahr.

gy scenarios“ eingereicht, der auf den im Rahmen dieses Projektes erfolgten Szenarioanalysen zur langfristigen Dekarbonisierung in Deutschland basiert.

5. Ausblick und Forschungsempfehlungen

Während die Forschungsergebnisse aus der Analyse der langfristigen Dekarbonisierungsszenarien für Deutschland und Japan grundsätzliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Dekarbonisierungsstrategien aufzeigen, wird ebenfalls deutlich, dass weitere und tiefgreifendere Untersuchungen erforderlich sind, um fundierte Aussagen zu konkreten Problemstellungen treffen zu können und damit die bessere Nutzung von Chancen und Vermeidung von Risiken bestimmter Dekarbonisierungsstrategien sicherzustellen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts und durch den Austauschprozesses mit den japanischen Wissenschaftlern konnten potentielle Themenfelder für den Ausbau und die Vertiefung der gemeinsamen japanisch-deutschen Forschung zu Dekarbonisierungsstrategien identifiziert werden. Diese Themenfelder umfassen unter anderem:

- Gemeinsame Forschung und Interaktion mit japanischen Wissenschaftlern für ein besseres Verständnis langfristiger Dekarbonisierungspfade und -strategien
- Forschung mit Fokus auf langfristige Dekarbonisierungsstrategien in der (energieintensiven) Industrie
- Zusammenfassung und Analyse der Erfahrungen mit Stakeholderprozessen aus Deutschland und Nutzbarmachung der Erkenntnisse für Japan
- Analyse der Rolle von sozio-ökonomischen Faktoren sowie Verhaltens- und Lebensstiländerungen für die langfristige Dekarbonisierung in beiden Ländern
- Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung/Society 5.0 in Bezug zur langfristige Dekarbonisierung in Japan und Deutschland

1 Einleitung

Nach den G7-Beschlüssen von Elmau aus dem Sommer 2015 und dem Klimaabkommen von Paris von Ende 2015 ist das Thema der langfristigen Dekarbonisierung der Energiesysteme in den Vordergrund der politischen und wissenschaftlichen Diskussion gerückt. Nun stellt sich international die Frage nach der Umsetzung der getroffenen Vereinbarungen. Neben der Debatte um die kurz- und mittelfristigen Ziele, d. h. bis ca. 2030, wird es aber auch darum gehen, den Blick der internationalen Gemeinschaft noch stärker auf langfristige Ziele sowie Pläne und Aktionsprogramme zu einer weitgehenden Dekarbonisierung der nationalen Energiesysteme und Ökonomien insgesamt zu richten. Hierbei geht es vor allem um die Umsetzung des Beschlusses der G7 aus Elmau vom Juni 2015, in dem diese sich verpflichtet haben, langfristige nationale Low-Carbon-Strategien zu erstellen. Eine ähnliche Vorgabe enthält auch das „Paris Agreement“, in dem in Artikel 4, Paragraph 15, gefordert wird, dass alle Länder „long-term greenhouse gas emission development strategies“ entwerfen und kommunizieren sollen.

Für Deutschland wurden in den vergangenen Jahren bereits zahlreiche Klimaschutzenszenarien mit längeren Zeithorizonten erstellt. Ihre Diskussion bleibt aber bislang im Wesentlichen auf die deutschsprachige Forschungslandschaft beschränkt. Gleichzeitig gibt es auch eine Reihe japanischer Klimaschutzenszenarien, die sich, wenn auch technologisch weniger differenziert, mit der weitgehenden Dekarbonisierung des Energiesystems beschäftigen.

Ein wichtiges Ziel des Projektes ist vor diesem Hintergrund die Unterstützung eines deutsch-japanischen Austausches zu langfristigen Dekarbonisierungsszenarien. Basierend auf einer Metaanalyse verschiedener ambitionierter Klimaschutzenszenarien und der Aufbereitung des inhaltlichen und methodischen Fachwissens auf japanischer und deutscher Seite sollen beidseitige Lernprozesse angestoßen und unterstützt werden. Des Weiteren trägt das Projekt dazu bei, dass die Forschungsarbeiten zu Reduktionsszenarien für Deutschland international stärkere Beachtung finden und dass die Themen der Dekarbonisierung und des langfristigen Klimaschutzes international vermehrt wahrgenommen sowie zunehmend breiter umgesetzt werden. Zudem kann auch die Diskussion zum Thema Klimaschutz und Dekarbonisierung in Deutschland durch die Analyse japanischer Studien befruchtet werden. In diesem Kontext wird mit dem Projekt auch beabsichtigt, von inhaltlichen und methodischen Diskussionen in Japan zu lernen und Verbesserungsmöglichkeiten in der deutschen Fachdiskussion zu identifizieren.

2 Überblick Projektplan

Diese Metastudie ambitionierter deutscher und japanischer Klimaschutzszenarien setzt sich aus insgesamt drei Arbeitspaketen zusammen und ist für eine Laufzeit von 10 Monaten konzipiert.

Zeitraum: November 2016 bis Dezember 2017

Aufwand: 7 PM

Abgeschlossen:

AP 1. Strukturierte Zusammenstellung der aktuellen Szenarioarbeiten für Deutschland und Japan sowie der wissenschaftlichen und politischen Fachdiskussion dazu

- Strukturierte Zusammenstellung der aktuellen Szenarioarbeiten für Deutschland und Japan
- Charakterisierung der Szenarien nach wesentlichen Elementen, wie z. B. Zeithorizont, untersuchte Sektoren und Ambitionsniveau
- Kriterienbasierte Szenarienauswahl

Abgeschlossen:

AP 2. Metaanalyse der Szenarien

- In Bezug auf zentrale Dekarbonisierungsstrategien (technische sowie soziale Innovationen)
- Unterscheidung zwischen „robusten“ Strategien und aus heutiger Sicht noch besonders unsicheren Strategien
- Wichtige (kontroverse) methodische Fragen
- Schwachpunkte und zentrale Herausforderungen der Arbeiten, die aus der Metanalyse der Szenarien abgeleitet werden können
- Auswirkungen auf die Wirtschaft bzw. das Wirtschaftswachstum und auf die Gesellschaft
- Transformationsherausforderungen für Wirtschaft und Gesellschaft im internationalen Kontext
- Vergleich der Ergebnisse der Metaanalysen deutscher und japanischer Szenarien

AP 3. Präsentation der Ergebnisse

- Im Rahmen der geplanten gemeinsamen japanisch-deutschen Forschung zu Energiewendestrategien, z. B. auf Workshops mit japanischen Wissenschaftlern und Regierungsvertretern
- Im Rahmen von Konferenzen/Fachworkshops sowie in Form einer wissenschaftlichen Publikation (Review-Paper)

3 Strukturierte Zusammenstellung der aktuellen Szenarioarbeiten für Deutschland und Japan

Ein wichtiger Schritt zur Vorbereitung der Analyse langfristiger Dekarbonisierungsstrategien für Japan und Deutschland ist die Auswahl der zu analysierenden Szenarien. Hierzu wurde zunächst eine Literaturanalyse für beide Länder durchgeführt. Dabei wurden jeweils nur Szenariostudien berücksichtigt, die 2011 oder später erschienen sind. Das Jahr 2011 wurde gewählt, um Relevanz und Aktualität der Studien sicherzustellen, insbesondere vor dem Hintergrund des Atomunfalls, der sich 2011 in Fukushima ereignet hat. Das Nuklearunglück im Atomkraftwerk Fukushima-Daiichi hatte und hat insbesondere Einfluss auf die Überlegungen zu der Gestaltung der langfristigen Dekarbonisierungsstrategien in Japan. Während in Japan nach Fukushima die langfristige Rolle der Kernenergie für die Stromversorgung überdacht wird, haben die Ereignisse in Deutschland zu einem – gegenüber dem Energiekonzept aus dem Jahr 2010 - beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie geführt. Die Szenarien, die 2011 oder später erstellt wurden, spiegeln diese Entwicklungen i. d. R. wieder.

Aus den identifizierten Studien wurden anschließend, in einem zweistufigen, kriterienengestützten Verfahren, jeweils drei Szenarien für Japan und Deutschland für die im weiteren Projektverlauf geplante detaillierte Analyse ausgewählt. Dazu wurden die Szenarien zunächst in Bezug auf die betrachteten Zeithorizonte, die Klimaschutz-Ambitionsniveaus und die analysierten THG-Emissionssektoren charakterisiert und hinsichtlich der Erfüllung von zuvor festgelegten Mindestkriterien überprüft. In einem zweiten Schritt wurden dann weitere Kriterien definiert, die erlauben, aus den in Frage kommenden Szenarien diejenigen auszuwählen, die für eine detaillierte Analyse am besten geeignet sind.

In den folgenden Abschnitten 3.1 und 3.2 wird ein Überblick über die Szenariostudien in Deutschland und Japan gegeben. In Abschnitt 3.3 werden die Mindestanforderungen festgelegt und die Szenarien dahingehend überprüft und im Abschnitt 3.4 werden schließlich die für die weitere Analyse im Projektverlauf zu nutzenden Szenarien ausgewählt und kurz vorgestellt.

3.1 Überblick über Szenariostudien für Deutschland

Für Deutschland liegen viele verschiedene Szenariostudien von unterschiedlichen Auftraggebern vor, in denen Möglichkeiten einer deutlichen Minderung der THG-Emissionen in den kommenden Jahrzehnten beschrieben werden. Die meisten dieser Studien fokussieren auf das Energiesystem (teilweise inklusive der prozessbedingten Emissionen der Industrie) oder auf die Stromerzeugung als Teilbereich dieses Systems. Einzelne Studien diskutieren aber zusätzlich auch weitere THG-Emissionsquellen, wie insbesondere die Landwirtschaft.

Die folgende Tabelle (Tab. 3-1) gibt einen Überblick über relevante Szenariostudien, die seit dem Jahr 2011 erschienen sind. Dabei werden Studien, die mittlerweile aktualisiert wurden, nicht aufgeführt (sondern nur die jeweils aktuellste Studie in der Reihe).

Tab. 3-1 Übersicht über seit 2011 veröffentlichte Szenariostudien zur Dekarbonisierung Deutschlands

Nr.	Studie	Auftraggeber/Autoren	Erscheinungsjahr
D1	Erfolgreiche Energiewende nur mit verbesserter Energieeffizienz und einem klimagerechten Energiemarkt – Aktuelle Szenarien 2017 der deutschen Energieversorgung	Nitsch	2017
D2	Die Energiewende nach COP 21 - Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung	Bundesverband Erneuerbare Energien	2016
D3	Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050	Fraunhofer ISE	2015
D4	Klimaschutzszenario 2050 - 2. Modellierungsrunde	BMUB	2015
D5	Klimaschutz: Der Plan - Energiekonzept für Deutschland	Greenpeace	2015
D6	Grundlagen und Konzepte einer Energiewende 2050	BUND	2015
D7	Die neue Stromwelt - 100% Erneuerbar	Bündnis 90/Die Grünen Bundestagsfraktion	2015
D8	Kombikraftwerk 2	BMUB	2014
D9	Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose	BMWi	2014
D10	Treibhausgasneutrales Deutschland 2050	UBA	2014
D11	Geschäftsmodell Energiewende - Eine Antwort auf das „Die-Kosten-der-Energiewende“-Argument	Fraunhofer IWES	2014
D12	Politiksznarien für den Klimaschutz VI – Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030	UBA	2013
D13	Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global	BMU	2012
D14	Wege zur 100 % erneuerbaren Stromversorgung – Sondergutachten	SRU	2011
D15	Energieszenarien 2011	BMWi	2011

3.2 Überblick über Szenariostudien für Japan

Während für Deutschland eine Vielzahl an Studien zu langfristigen Dekarbonisierungsszenarien existiert, zeichnet sich für Japan ein anderes Bild. Zwar ist die Anzahl der gelisteten Studien (Tab. 3-2) nicht weniger umfangreich, aber bei der ersten Durchsicht der japanischen Szenarioliteratur zeigt sich, dass der Analysezeitraum der Szenarien oft nicht bis 2050, sondern nur bis maximal 2040, meist sogar nur bis 2030 reicht.

Dabei ist darauf hinzuweisen, dass bei der Literatursichtung nur die englischsprachige Szenarioliteratur für Japan berücksichtigt werden konnte. Nach bestem Wissen der Autoren und nach Rücksprache mit den japanischen Forschungspartnern vom National Institute for Environmental Studies (NIES) kann jedoch davon ausgegangen werden, dass zumindest der überwiegende Teil der bedeutenden Szenariostudien für Japan auch auf Englisch vorliegen oder zumindest englischsprachige Zusammenfassungen verfügbar sind.

Tab. 3-2 Übersicht über seit 2011 veröffentlichte (englischsprachige) Szenariostudien zur Dekarbonisierung Japans

Nr.	Studie	Auftraggeber/ Autoren	Erscheinungsjahr
J1	Long-term scenarios for decarbonizing Japan	WWF Japan	2017
J2	Transformation of Japan's energy system to attain net-zero emission by 2050	Oshiro et al.	2017a
J3	Implications of Japan's 2030 target for long-term low emission pathways	Oshiro et al.	2017b
J4	Asia/World Energy Outlook 2016	IEEJ	2016
J5	World Energy Outlook 2016	IEA	2016
J6	Long-term Energy Supply Demand Outlook	METI	2015
J7	Toward Choosing Energy Mix	IEEJ	2015
J8	Analysis of Japan's Long-Term Energy Outlook Considering Massive Deployment of Variable Renewable Energy under Nuclear Energy Scenario	Komiyama/Fuji	2015
J9	Japan's likely 2030 energy mix: more gas and solar	Bloomberg New Energy Finance	2015
J10	Pathways to deep decarbonization in Japan	Kainuma et al.	2015
J11	MILES (Modelling and Informing Low Emissions Strategies) Project - Japan Policy Paper: A joint analysis of Japan's INDC	NIES	2015
J12	Japan's energy conundrum: Post-Fukushima scenarios from a life cycle perspective	Pereira et al.	2014
J13	Post-disaster resilience of a 100% renewable energy system in Japan	Esteban/Portugal-Pereira	2014
J14	Feasibility Analysis of Alternative Electricity Systems by 2030 in the Post-Fukushima Era	Park et al.	2014
J15	A roadmap toward a low-carbon society in Japan using backcasting methodology: Feasible pathway for achieving an 80% reduction in CO ₂ emission by 2050	Ashina et al.	2012
J16	Scenario analysis on future electricity supply and demand in Japan	Zhang et al.	2012
J17	The advanced energy [r]evolution – A Sustainable Energy Outlook for Japan	Greenpeace/EREC	2011
J18	The Japanese energy sector: Current situation, and future paths	Takase/Suzuki	2011

3.3 Charakterisierung der Szenarien

Nachdem im vorherigen Abschnitt ein erster Überblick über die seit 2011 veröffentlichte deutsche und japanische Literatur zu Energie- und Emissionsszenarien gegeben wurde, muss nun geklärt werden, welche der Szenarien aus den 15 deutschen und 18 japanischen Studien für die im weiteren Projektverlauf geplante Detailanalyse in Frage kommen. Dazu wurden zunächst folgende Mindestanforderungen festgelegt, welche die Szenarien erfüllen müssen, um für die geplante Metanalyse von langfristigen Dekarbonisierungsstrategien geeignet zu sein:

- **Zeithorizont:** mindestens bis 2050
- **Ambitionsniveau:** Kompatibel mit einer mindestens 80 prozentigen (Deutschland) bzw. 70-prozentigen (Japan) THG-Reduktion bis 2050 gegenüber 1990³
- **Berücksichtigte THG-Emissionssektoren:** Analyse mindestens der gesamten energiebedingten CO₂-Emissionen, da diese mit 83 % (Deutschland, UBA 2016) bzw. 87 % (Japan, MOE 2016) (jeweils Jahr 2014) in beiden Ländern deutlich die gesamten Treibhausgasemissionen dominieren.

In den folgenden Tabellen werden die identifizierten deutschen und japanischen Szenarien anhand dieser drei Kriterien charakterisiert, um eine Vorauswahl für die im weiteren Projektverlauf im Detail zu analysierenden und zu vergleichenden Szenarien für Deutschland und Japan treffen zu können.

Tab. 3-3 Charakterisierung der Szenarien für Deutschland

Nr.	Jahr	Zeithorizont Szenarien	THG-Änderung im Jahr 2050 gegenüber 1990 (in %)			Betrachtete THG-Emissionssektoren						
			Ge- samte THG- Emis- sionen	Ener- giebe- dingte CO ₂ - Emis- sionen	CO ₂ - Emis- sionen der Strom- erzeu- gung	Energiesystem				andere		
						Strom- erzeu- gung	Ge- bäude	Verkehr	Industrie (ener- giebe- dingte Emis- sionen)	Industrie (pro- zessbe- dingte Emis- sionen)	Landwirt- schaft , Abfall und Landnut- zungs- ände- rungen	
D1	2017	2050	Trend 17	k. A.	-60	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			KLIMA -17 MEFF	k. A.	-95	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			KLIMA -17 HEFF	k. A.	-95	k. A.	✓	✓	✓	✓		
D2	2016	2050	TREND	-58 %	-57 %	-62 %						
			KLIMA 2050	-95 %	-97 %	-98 %	✓	✓	✓	✓		
			KLIMA 2040	-95 %	-98 %	-99 %						
D3	2015	2050	80/gering/klass. /n.b.	k. A.	-80 %	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			80/gering/CH4/ n.b.		-80 %							
			80/gering/H2/n. b.		-80 %							
			80/gering/elektri- sch/n.b.		-80 %							
			80/gering/Mix/n. b.		-80 %							
			80/amb/Mix/n.b.		-80 %							

³ Bezüglich des Ambitionsniveaus muss beachtet werden, dass die Pro-Kopf-THG-Emissionen in Japan im Jahr 1990 etwa 35 % niedriger lagen als in Deutschland (OECD 2017) und insofern eine hier für Deutschland unterstellte mindestens nötige THG-Emissionsreduktion um 80 % bis 2050 (gegenüber 1990) für Japan – bei unterstellter ähnlicher relativer Bevölkerungsentwicklung – in etwa vergleichbar wäre mit einer entsprechenden Reduktion um 70 %.

			80/amb/Mix/beschl.		-80 %							
			85/amb/Mix/beschl.		-85 %							
			90/amb/Mix/beschl.		-90 %							
D4	2015	2050	AMS	-60 %	-58 % ^a	-63 % ^a						
			KS 80	-83 %	-85 % ^a	-91 % ^a	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			KS 95	-94 %	-96 % ^a	-97 % ^a						
D5	2015	2050	Greenpeace-Szenario	-89 %	k. A.	-100% ^a	✓	✓	✓	✓	✓	✓
D6	2015	2050	BUND-Szenario	k. A.	-100 %	-100 %	✓	✓	✓	✓		
D7	2015	o. J.	100-Prozent-EE	k. A.	k. A.	-100 %	✓					
D8	2014	o. J.	100%-EE	k. A.	k. A.	-100 %	✓					
D9	2014	2050	Trendszenario	k. A.	-65 % ^a	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			Zielszenario	k. A.	-80 % ^a	k. A.	✓	✓	✓	✓		
D10	2014	2050	THGND 2050	-95 %	-100 %	-100 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
D11	2014	2050	Vollversorgungsszenario	k. A.	- 95 %	-100 %	✓	✓	✓	✓		
D12	2013	2030	Aktuelle-Politik-Szenario	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			Energiewende-Szenario	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
D13	2012	2050	Szenario 2011 A	-81 %	-85 % ^b	-94 %	✓	✓	✓	✓		
			Szenario 2011 B	-81 %	-84 % ^b	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			Szenario 2011 C	-82 %	-85 % ^b	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			Szenario 2011 A'	-81 %	-85 % ^b	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			Szenario 2011 THG95	-87 %	-91 % ^b	k. A.	✓	✓	✓	✓		
D14	2011	2050	Szenario 1.a	k. A.	k. A.	-100 %	✓					
			Szenario 1.b	k. A.	k. A.	-100 %	✓					
			Szenario 2.1.a	k. A.	k. A.	-100 %	✓					
			Szenario 2.1.b	k. A.	k. A.	-100 %	✓					
			Szenario 2.2.a	k. A.	k. A.	-100 %	✓					
			Szenario 2.2.b	k. A.	k. A.	-100 %	✓					
			Szenario 3.a	k. A.	k. A.	-100 %	✓					
			Szenario 3.b	k. A.	k. A.	-100 %	✓					
	2011	2030	Szenario Ausstieg	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓		

D15			Szenario LZV	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓		
-----	--	--	--------------	-------	-------	-------	---	---	---	---	--	--

^a Umfasst neben den energiebedingten CO₂-Emissionen auch die energiebedingten Emissionen weiterer Treibhausgase (insbesondere Methan und Lachgas).

^b Inklusive prozessbedingte Emissionen aus dem Hochofenprozess.

Tab. 3-4 Charakterisierung der Szenarien für Japan

Nr.		Zeithorizont Szenarien		THG-Änderung im Jahr 2050 gegenüber 1990 (in %)			Betrachtete THG-Emissionssektoren					
							Energiesystem				andere	
				Ge-samte THG Emis-sionen	Ener-giebedingte CO ₂ -Emis-sionen	CO ₂ -Emis-sionen der Strom-erzeugung	Strom-erzeugung	Ge-bäude	Ver-kehr	Indust-rie (ener-giebe-dingte Emis-sionen)	Industrie (pro-zessbe-dingte Emis-sionen)	Land-wirt-schaft Abfall und Land-nut-zungs-ände-rungen
J1	2017	2050	Bridge Scenario	-80 %	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			100% Renew-ables	-95 %	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓		
J2	2017	2050	Reference	-9 %	-5 %	+102 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			INDC-Extended	-64 %	-65 %	-69 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			INDC-80	-80 %	-83 %	-94 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			Immediate-80	-80 %	-83 %	-94 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			Low-Nuclear	-80 %	-83 %	-94 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			No-Nuclear	-80 %	-83 %	-94 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
J3	2017	2050	Reference	-13 %	-9 %	+82 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			INDC_-2deg	-80 %	-83 %	-124 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			INDC -1,5 deg	-94 %	-100 %	-145 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			1.5deg.	-94 %	-100 %	-144 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			INDC--2deg_woBECCS	-80 %	-83 %	-94 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			INDC-1.5deg_woBEC CS	k. A.	100 %	k. A.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			1.5deg_woBEC CS	k. A.	100 %	k. A.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			INDC-2deg._NucPO	-80 %	-83 %	-120 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			INDC-1.5deg._NucPO	-94 %	-100 %	-144 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			1.5deg_NUCPO	-94 %	-100 %	-144 %	✓	✓	✓	✓	✓	✓
J4	2016	2040	Reference	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			Advanced technologies	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓		
J5	2016	2040	New policies scenario	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓	✓	
			Current policies	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓	✓	
			450 scenario	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓	✓	
J6	2015	2030	FY2030	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓		

J7	2015	2030	Scenario I	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓.	✓	✓.		
			Scenario II	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓.	✓	✓.		
			Scenario III	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓.	✓	✓.		
			Scenario IV	k. A.	k. A.	k. A.	✓	✓.	✓	✓.		
J8	2015	2050	Reference scenario	k. A.	-55 % ^c	-71 % ^c	✓	✓	✓	✓		
			Nuclear power scenario (NPS) - status quo	k. A.	-55 % ^c	-71 % ^c	✓	✓	✓	✓		
			NPS - decommission after 60 years case	k. A.	-55 % ^c	-71 % ^c	✓	✓	✓	✓		
			NPS - decommission after 50 years case	k. A.	-55 % ^c	-71 % ^c	✓	✓	✓	✓		
			NPS - decommission after 40 years case	k. A.	-55 % ^c	-71 % ^c	✓	✓	✓	✓		
J9	2015	2030	2030 Government	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
			2030 BNEF	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
J10	2015	2050	Reference	-30 % ^d	k. A.	k. A.	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			Mixed Scenario	-80 %	-83 % ^e	-97 % ^e	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			No Nuclear Scenario	-80 %	-83 % ^e	-97 % ^e	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			Limited CCS Scenario	-80 %	-83 % ^e	-98 % ^e	✓	✓	✓	✓	✓	✓
J11	2015	2050	NIES INDC Scenario	-80 %	-83 % ^e	-96 % ^e	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			Enhanced Action Scenario	-80 %	-83 % ^e	-96 % ^e	✓	✓	✓	✓	✓	✓
			Low -Nuclear Scenario	-80 %	-83 % ^e	-96 % ^e	✓	✓	✓	✓	✓	✓
J12	2014	2030	Pre-Fukushima Baseline	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
			Zero nuclear, high thermal	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
			Zero nuclear, high renewables	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
			Nuclear reduction, low renewables	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
			Nuclear reduction, high renewables	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
J13	2014	2030	Three consumption scenarios (A: Business as Usual; B: 10% saving in electricity consumption during the summer; C: 20% summer	k. A.	k. A.	-100 %	✓					

			savings) and six 100% renewables scenarios with varying capacities of wind and solar power = 18 combined scenarios									
J14	2014	2030	Reference (Nuclear 59%)	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
			A1 (Nuclear 24%)	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
			A2 (Nuclear 15%)	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
			B1 (Nuclear 33%)	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
			B2 (Nuclear 21%)	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
			C2 (Nuclear 27%)	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
J15	2012	2050	A - technology - oriented economic development scenario	k. A.	-80 %	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			B - renewable resource-oriented, decentralized scenario	k. A.	-80 %	k. A.	✓	✓	✓	✓		
J16	2012	2030	Combination of three supply scenarios (S1, S2, and S3) and three demand scenarios (D1, D2 and D3)	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
J17	2011	2050	Reference scenario	k. A.	+20 %	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			Energy [r]evolution scenario	k. A.	-74 %	k. A.	✓	✓	✓	✓		
			Advanced energy [r]evolution scenario	k. A.	-87 %	k. A.	✓	✓	✓	✓		
J18	2011	2030	Business as usual	k. A.	k. A.	k. A.	✓					
			National Alternative	k. A.	k. A.	k. A.	✓					

^c Die CO₂-Minderungsziele für den Energie- und Stromsektor wurden von den Autoren auf Basis der im World Energy Outlook 2016 (IEA/OECD 2016) für Japan angegebene Daten für 2014 auf das Referenzjahr 1990 umgerechnet. Das Jahr 2014 wurde gewählt, da die Studie im Jahr 2015 erschienen ist und sich auf das „aktuelle“ Emissionsniveau bezieht. Trotz evtl. Abgrenzungsunterschiede bei der Emissionszuordnung wird angenommen, dass die relativen Emissionsänderungen vergleichbar sind.

^d Das gesamte THG-Minderungsziel für Japan wurde von den Autoren auf Basis der OECD-Statistik (OECD 2017) von 2010 auf das Referenzjahr 1990 umgerechnet. Trotz evtl. Abgrenzungsunterschiede wird angenommen, dass die relativen Emissionsänderungen vergleichbar sind.

^e Die CO₂-Minderungsziele für den Energie- und Stromsektor wurden von den Autoren auf Basis der im World Energy Outlook 2012 (IEA/OECD 2012) für Japan angegebenen Daten für 2010 auf das Referenzjahr 1990 umgerechnet. Trotz evtl. Abgrenzungsunterschiede bei der Emissionszuordnung wird angenommen, dass die relativen Emissionsänderungen vergleichbar sind.

3.4 Kriterienbasierte Szenarienauswahl

Ausgehend von der Literaturanalyse und der Charakterisierung der Szenariostudien anhand der im vorherigem Abschnitt vorgestellten Kriterien ergibt sich eine Vorauswahl für die im weiteren Projektverlauf im Detail zu analysierenden und zu vergleichenden Szenarien für Deutschland und Japan.

Die Anzahl der Szenarien, welche die Mindestkriterien erfüllen liegt mit 25 Szenarien für Deutschland und 29 Szenarien aus fünf Studien für Japan weit über dem geplanten Analyserahmen von drei bis fünf Szenarien pro Land. Dies erlaubt es, weitere Kriterien zu definieren und anzuwenden, um die am besten geeigneten Szenarien für die Analyse von langfristigen Dekarbonisierungsstrategien auszuwählen.

Von zentraler Bedeutung für die im weiteren Projektverlauf geplante Analyse und den Vergleich der Szenarien ist eine ausreichende quantitative Detailtiefe bezüglich wesentlicher Kenngrößen des Energiesystems (wie Primärenergiebedarf, Endenergiebedarf, Stromerzeugung und energiebedingte THG- bzw. CO₂-Emissionen).

Außerdem wäre es wünschenswert, wenn die letztlich ausgewählten Szenarien neben einer Beschreibung möglicher Minderungen der THG-Emissionen des Energiesystems auch eine entsprechende Diskussion der nicht-energiebedingten Emissionen beinhalten würden.

Bei der abschließenden Auswahl von bis zu fünf geeigneten Szenarien wird aus den in Fragen kommenden Szenarien schließlich eine solche Auswahl angestrebt, die eine gewisse Heterogenität sowohl bezüglich der von den Szenarien bis zum Jahr 2050 erreichten THG-Minderungen als auch bezüglich der in ihnen hauptsächlich verfolgten Strategien zur Dekarbonisierung aufweisen. Eine solche Heterogenität verspricht eine ergiebige Analyse der möglichen Vor- und Nachteile der verschiedenen (und je nach Ambitionsniveau in unterschiedlichem Ausmaß benötigten) strategischen Optionen für Deutschland und Japan. Zusammenfassend ergeben sich somit folgende zusätzliche Kriterien:

- Ausreichende quantitative Detailtiefe bezüglich wesentlicher Kenngrößen des Energiesystems
- Betrachtung auch der nicht-energiebedingten THG-Emissionen
- Heterogenität bezüglich der von den Szenarien bis zum Jahr 2050 erreichten THG-Minderungen
- Heterogenität bezüglich der in den Szenarien hauptsächlich verfolgten Dekarbonisierungsstrategien

Auf Grundlage dieser Kriterien wurde eine Auswahl von jeweils fünf zu analysierenden Szenarien für Deutschland und Japan getroffen. Die Auswahl umfasst für beide Länder Szenarien mit sehr hohem Ambitionsniveau (Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen auf Null bis zum Jahr 2050) und niedrigerem Ambitionsniveau (Reduktion der Emissionen bis 2050 gegenüber 1990 um 80%) und ebenfalls Szenarien mit unterschiedlichen Schwerpunkten bei den Strategien zur Erreichung der THG-Minderungen. Es handelt sich zudem um quantitativ ausreichend detaillierte Szenarien, so dass sowohl für den Vergleich und die Analyse der Szenarien der einzelnen Länder als auch für den Vergleich und die Analyse der Szenarien

zwischen Deutschland und Japan – insbesondere für das Energiesystem – eine gute Datengrundlage zur Verfügung steht.

Auswahl Deutschland:

Bei den Szenarien für Deutschland wurde die Auswahl wie folgt getroffen: Von den 25 auf Grundlage der Mindestkriterien in Frage kommenden Szenarien weisen zwölf Szenarien der Studien D3, D5, D6 und D11 jeweils mindestens für Teilbereiche des Energiesystems eine als unzureichend eingeschätzte Detailtiefe auf. Bei den verbleibenden fünf Studien (D1, D2, D4, D9, D10 und D13) haben die beiden Studien D4 (BMUB 2015) und D10 (UBA 2014) den Vorteil, dass im Rahmen dieser Szenarien neben der möglichen Entwicklung der energiebedingten THG-Emissionen auch die mögliche Entwicklung der nicht-energiebedingten THG-Emissionen analysiert wird.

Die drei Szenarien dieser beiden Studien entsprechen zudem in etwa dem unteren Ende (Szenario „KS 80“ aus BMUB 2015) bzw. dem oberen Ende („KS 95“ aus BMUB 2015 sowie „THGND“ aus UBA 2014) der 80 bis 95 %-THG-Minderungszielspanne der Bundesregierung für das Jahr 2050. Die beiden ambitionierteren Szenarien unterscheiden sich darüber hinaus deutlich voneinander, unter anderem in Bezug auf die zukünftig erwartete Rolle von synthetischem Methan und synthetischen Kraftstoffen sowie in Bezug auf den Einsatz der CCS-Technologie zur Reduktion der CO₂-Emissionen von Industrieanlagen. Insofern sprechen mehrere Gründe für die Auswahl dieser drei Szenarien.

Ergänzend soll als viertes Szenario das „Zielszenario“ der Studie im Auftrag des BMWi (2014) in die Analyse miteinbezogen werden. Dieses Szenario weist zwar nur die energiebedingten Emissionen aus, ist bezüglich dieser Emissionen jedoch etwas weniger ambitioniert als das „KS 80“-Szenario (BMUB 2015). Des Weiteren unterscheidet sich das „Zielszenario“ vom „KS 80“-Szenario bis Mitte des Jahrhunderts in einigen Bereichen des Energiesystems nicht unwesentlich, unter anderem in Bezug auf die zukünftige Rolle der Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik sowie in Bezug auf die Rolle der Elektromobilität im Verkehrssektor.

Als fünftes Szenario wird das Szenario „KLIMA -17 MEFF“ aus der im Jahr 2017 erschienen Studie von Nitsch (2017) in die Metanalyse aufgenommen. Dieses Szenario beschreibt eine Minderung der energiebedingten THG-Emissionen um 95 % im Jahr 2050 (gegenüber 1990), und stellt somit eine ergänzende Ausprägung des Möglichkeitsraums für sehr weitgehende und mit dem Pariser Klimaschutzabkommen in Einklang stehende Klimaschutzbemühungen bis Mitte des Jahrhunderts dar.

Im Folgenden werden die fünf ausgewählten Szenarien kurz beschrieben:

- **Studie: D9** - Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose (BMWi 2014)

Szenario: Zielszenario

Ähnlich wie das Szenario KS 80 (s. oben) möchte das „Zielszenario“ aufzeigen, wie die im Energiekonzept definierten energie- und klimaschutzpolitischen Ziele erreicht werden könnten. Allerdings könnte mit den beschriebe-

nen Strategien maximal das untere Ende des THG-Minderungszielkorridors der Bundesregierung erreicht werden, da es „nur“ eine Minderung der energiebedingten THG um 80 % aufzeigt. Die allgemein als schwerer erachtete Minderung der THG-Emissionen der Landwirtschaft und der prozessbedingten Emissionen wird nicht beschrieben. Der Ausbau der erneuerbaren Energien zur Stromerzeugung wird im Vergleich zu allen anderen hier betrachteten Szenarien deutlich weniger stark forciert.

- **Studie: D1** - Erfolgreiche Energiewende nur mit verbesserter Energieeffizienz und einem klimagerechten Energiemarkt – Aktuelle Szenarien 2017 der deutschen Energieversorgung (Nitsch 2017)

Szenario: KLIMA-17 MEFF (K17 M)

Das KLIMA-17 MEFF Szenario beschreibt eine bis Mitte des Jahrhunderts weitgehend auf erneuerbaren Energien basierende Energieversorgung. Die angenommene Effizienzsteigerung bis 2050 entspricht der im Energiekonzept implizit angenommenen Effizienzsteigerung, die es ermöglicht, bis 2050 eine Halbierung des Primärenergieverbrauchs gegenüber 2008 zu erreichen.

- **Studie: D4** - Klimaschutzszenario 2050 - 2. Modellierungsrunde (BMUB 2015)

Szenario: KS 80

Das KS 80-Szenario beschreibt eine mögliche Entwicklung der THG-Emissionen Deutschlands, die kompatibel mit dem weniger ambitionierten Ende des THG-Minderungszielkorridors der Bundesregierung wäre. In dem Szenario werden zudem die im Energiekonzept der Bundesregierung festgelegten Ziele für die zukünftigen Anteile erneuerbarer Energien sowie für die Minderung des Energiebedarfs weitgehend erreicht.

Szenario: KS 95

Um bis Mitte des Jahrhunderts eine Minderung der THG-Emissionen um rund 95 % erreichen zu können, werden im KS 95-Szenario in vielen Bereichen deutlich weitergehende Änderungen beschrieben als im KS 80-Szenario. So gewinnen Wasserstoff und daraus hergestellte Energieträger im KS 95-Szenario an Bedeutung und es wird angenommen, dass energie- und prozessbedingten CO₂-Emissionen der Industrie abgeschieden und gespeichert werden können. Zudem spielen in diesem Szenario auch Lebensstiländerungen (z. B. zur Minderung des Verkehrsaufkommens und des Fleischkonsums) eine Rolle, um die THG-Emissionen weiter zu senken.

- **Studie: D10** - Treibhausgasneutrales Deutschland 2050 (UBA 2014)

Szenario: THGND

In dem THGND-Szenario wird der Energiebedarf bis Mitte des Jahrhunderts vollständig durch erneuerbarer Energien und überwiegend auf der Grundlage von Strom (insbesondere Wind- und Solarenergie) gedeckt. In

dem Szenario wird Strom in großem Maße in synthetisches Methan und synthetische Kraftstoffe umgewandelt und verdrängt in dieser Form in den Endenergiesektoren fossile Energieträger. Aufgrund des hohen Bedarfs an Strom aus erneuerbaren Energien wird angenommen, dass ein großer Teil des Strombedarfs durch Importe aus anderen Ländern mit hohen Erneuerbaren-Potenzialen (z. B. der MENA-Region) gedeckt wird – entweder direkt oder indirekt als synthetische Energieträger.

Auswahl Japan:

Für die fünf japanischen Szenariostudien, welche die Mindestkriterien erfüllen (J1, J2, J3, J8, J10, J12, J15 und J17 vgl. Tab. 3-4), wurde zunächst überprüft, welche Studien eine ausreichende Detailtiefe aufweisen, um die langfristigen Dekarbonisierungsstrategien detailliert analysieren und vergleichen zu können. Dabei zeigte sich, dass sowohl für die fünf Szenarien der Studie J8 „Analysis of Japan’s Long-Term Energy Outlook Considering Massive Deployment of Variable Renewable Energy under Nuclear Energy Scenario“ (Komiya/Fuji 2015) als auch die zwei Szenarien der Studie J15 „A roadmap toward a low-carbon society in Japan using backcasting methodology: Feasible pathway for achieving an 80% reduction in CO₂ emission by 2050“ (Ashina et al. 2012) keine ausreichend detaillierten Daten verfügbar sind und die Szenarien somit nicht für die Detailanalyse in Frage kommen.

Von den verbleibenden sechs Studien basieren die zwei Studien J9 „Pathways to deep decarbonization in Japan“ (Kainuma et al. 2015) und J10 „MILES (Modelling and Informing Low Emissions Strategies) Project - Japan Policy Paper: A joint analysis of Japan’s INDC (NIES 2015) auf dem gleichen Model und einer ähnlichen Autorenschaft wie die aktuelleren Studien J2 und J3. Alle Szenarien dieser beiden Studien erreichen bis zum Jahr 2050 auch eine identische Minderungsbandbreite der gesamten THG-Emissionen.

Auch wenn diese beiden Studien im Gegensatz zu der ebenfalls in Frage kommenden Studie J17 – zumindest am Rande – auch die nicht-energiebedingten THG-Emissionen diskutiert, erscheint eine Auswahl von Szenarien aus *jeder dieser vier* Studien aufgrund der Ähnlichkeiten nicht sinnvoll. Da die Studie J2 und J3 die Ergebnisse der aktuellsten Modellierungen präsentieren und zudem bereits die japanischen Treibhausgas-Emissionsminderungsziele in Form der Intended Nationally Determined Contribution (INDC) berücksichtigt werden, wurde entschieden, sich auf jeweils ein Szenario aus diesen Studien zu konzentrieren.

Neben den Modellierungen von den Autoren von NIES ist 2017 ebenfalls die bisher nur auf japanisch verfügbaren WWF-Szenariostudien „Long-term scenarios for decarbonizing Japan“ auf English veröffentlicht worden. Die beiden Szenarien „100% Renewable Energy Scenario“ und das „Bridge Scenario“ werden aufgrund ihrer Aktualität und den unterschiedlichen Ambitionsniveaus ebenfalls für die detaillierte Analyse ausgewählt.

Für die detaillierte Analyse wurde zudem noch das „Advanced energy [r]evolution scenario“ aus J17, dem „Sustainable Energy Outlook for Japan“ im Auftrag von Greenpeace und EREC (2011) ausgewählt. Die Betrachtung eines weiteren ambitio-

nierten Szenarios erlaubt es, eine größere Spannweite an Dekarbonisierungsstrategien betrachten zu können.

Ausgehend von dieser Festlegung verbleibt eine Auswahl von fünf möglichen Szenarien aus vier Studien (J1, J2, J3, und J17). Diese fünf Szenarien haben jeweils relativ hohe aber dennoch differenzierte Ambitionsniveaus hinsichtlich der bis zum Jahr 2050 zu erreichenden THG- bzw. CO₂-Minderungen und setzen unterschiedliche Schwerpunkte bezüglich der zukünftigen Dekarbonisierungsstrategien – nicht zuletzt in Bezug auf die zukünftige Rolle der Atomenergie.

Im Folgenden werden die fünf ausgewählten Szenarien kurz beschrieben:

■ **Studie: J1** - Long-term scenarios for decarbonizing Japan (WWF 2017)

Szenario: Bridge Scenario

Diese Szenario nimmt an, dass das Ziel der japanischen Regierung, die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 % zu reduzieren, erreicht (jedoch nicht übertroffen) wird. Wie der Name „Bridge“ des Szenarios bereits andeutet, wird das Szenario als Brückenszenario zur späteren Erreichung einer zu 100 % auf erneuerbaren Energien beruhenden Energieversorgung gesehen.

Szenario: 100% Renewables Scenario (100% RE)

Das 100% Renewables Szenario zielt auf eine zu 100 % auf erneuerbaren Energien basierende Energieversorgung im Jahr 2050 ab. Um dies zu erreichen, spielt Mitte des Jahrhunderts Wasserstoff (aus erneuerbarem Strom gewonnen) eine bedeutende Rolle. Zudem wird in dem Szenario angenommen, dass der Endenergieverbrauch bis 2050 nahezu halbiert werden kann, was unter anderem durch Energieeffizienzsteigerung in der Industrie und im Gebäudesektor erreicht werden soll. Der Bedarf an Wärme und Kraftstoffe soll unter anderem durch eine deutlich verstärkte Nutzung der Biomasse abgedeckt werden.

■ **Studie: J2** - Transformation of Japan's energy system to attain net-zero emission by 2050 (Oshiro et al. 2017a)

Szenario: Low-Nuclear Scenario (Low Nuc.)

Auch dieses Szenario nimmt an, dass das Ziel der japanischen Regierung, die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 % zu reduzieren, erreicht wird. In Anbetracht der gegenwärtigen Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Nutzung der Atomenergie in Japan, wird in dem Low-Nuclear Szenario zudem davon ausgegangen, dass die Laufzeit der bestehenden Atomkraftwerke 40 Jahre nicht überschreitet. Zudem wird davon ausgegangen, dass keine Atomkraftwerke neu gebaut und bestehende Kapazitäten nicht ersetzt werden. Dies führt dazu, dass bis zum Jahr 2050 die Stromerzeugung aus Atomenergie auf Null sinkt.

- **Studie: J3** - Implications of Japan's 2030 target for long-term low emission pathways (Oshiro u a. 2017b)

Szenario: 1.5 deg. NUCPO

Das Szenario beschreibt eine Reduzierung der Emissionen bis zum Jahr 2030, die über die Ziele der japanischen INDCs hinausgehen. Das Szenario zielt zudem darauf ab, durch das Erreichen von Netto-Null-Emissionen bis zum Jahr 2050 einen adäquaten Beitrag Japans zum Erreichen des im Pariser Abkommen erwähnten 1,5-Grad-Ziels zu leisten. Gleichzeitig wird in dem Szenario ein Ausstieg aus der Kernenergie bis zum Jahr 2050 angenommen.

- **Studie: J17** - The advanced energy [r]evolution – A Sustainable Energy Outlook for Japan (Greenpeace/EREC 2011)

Szenario: JP Advanced energy revolution (AE[R])

Das Advanced energy revolution Szenario geht von einem unverzüglichem Atomausstieg und der strikten Umsetzung einer Vielzahl von Effizienzmaßnahmen, sowohl zur Verringerung der Spitzenlast als auch der jährlich Stromnachfrage, aus. Zudem wird eine schnelle Marktentwicklung mit hohen jährlichen Wachstumsraten von erneuerbaren Energietechnologien zur Stromerzeugung projiziert, so dass im Jahr 2050 ein Großteil (85 %) der Elektrizität aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen werden kann. Für den Transportsektor wird eine höhere Anzahl an Elektrofahrzeugen und damit eine höhere Nutzung von Elektrizität erwartet.

4 Metanalyse Dekarbonisierungsszenarien Japan und Deutschland

Im folgenden Kapitel werden die ausgewählten japanischen und deutschen Szenarien bezüglich ihrer Annahmen, Ergebnisse und der angewendeten Methoden, die den einzelnen Szenarien zugrunde liegen, im Detail analysiert und verglichen. Ausgehend von diesen Analysen werden darauffolgend die verfolgten Dekarbonisierungsstrategien aus den deutschen und japanische Szenarioarbeiten im Detail untersucht. Im Anschluss werden auf dieser Grundlage die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen den betrachteten Studien zusammenfassend diskutiert.

4.1 Vergleich der verwendeten Methodik

Die verwendete Methodik für die Entwicklung der Energieszenarien ist in allen analysierten Studien ähnlich. Sowohl die japanischen als auch die deutschen Szenarien wurden auf Grundlage verschiedener sektorspezifischer und technologisch detaillierter bottom-up-Modelle entwickelt. Die zukünftige Energienachfrage in den verschiedenen Sektoren wurde dabei auf Grundlage einer Reihe von Annahmen abgeleitet, einschließlich derer zur zukünftigen Bevölkerungsentwicklung, zum zukünftigen BIP-Wachstum und zur zukünftigen Verbreitung neuer Technologien im Bereich der Energieumwandlung und der Endverbraucher.

Die Studien haben im Allgemeinen einen Simulationsmodellierungsansatz angewandt, wobei jedoch der Einsatz konventioneller Kraftwerke typischerweise mit Hilfe von Optimierungsmodellen (Kostenminimierungsmodellen) bestimmt wurde. Der Modellierungsrahmen für alle analysierten Studien ist daher sehr ähnlich und die Unterschiede bei den Ergebnissen der Szenarien können in höherem Maße auf Unterschiede bei den Input-Annahmen wie Technologieverfügbarkeit und -diffusion zurückgeführt werden.

In allen untersuchten Studien wurden die Annahmen für die künftige Nutzung erneuerbarer Energien oder CCS, die Verbreitung energieeffizienter Technologien und - bis zu einem gewissen Grad - das Verbraucherverhalten (siehe Abschnitt 6.2.5) so angepasst, dass plausible Wege zur Dekarbonisierung des Energiesystems aufgezeigt werden.

4.2 Gegenüberstellung zentraler Annahmen und Ergebnisse aus den analysierten Szenarien für Japan und Deutschland

4.2.1 Vergleich der Annahmen zu zentralen Treibern der Energienachfrage und des Energieangebots

In beiden Ländern wird in den Szenarien – auf Grundlage einschlägiger Schätzungen – in den kommenden Jahrzehnten ein Rückgang der Bevölkerung erwartet. Der Rückgang wird in Japan voraussichtlich stärker ausfallen (Bevölkerungsrückgang - 14 % bis -24 % zwischen 2010 und 2050) als in Deutschland (-9 % bis -12 %).

Im Zuge dieser demographischen Entwicklung wird in beiden Ländern die Zahl und der Anteil älterer Menschen ansteigen. Diese Änderungen in der Bevölkerungsstruktur können wiederum Rückwirkungen auf die Energienachfrage und die Wirtschaftlichkeit von Infrastrukturen haben.

Tab. 4-1 Szenarioannahmen zur Bevölkerung (in Mio.)

	2010	2020	2030	2040	2050
Japanische Szenarien					
Low-Nuclear (Oshiro et al. 2017)	128	124	117	107	97
Advanced Energy Revolution (GP 2011)		124	117	110	102
Bridge (WWF 2017)	128	124	117	107	97
100% Renewables (WWF 2017)	128	124	117	107	97
1.5deg_NUCPO (Oshiro et al. 2017b)	128	126	122	116	110
Deutsche Szenarien					
Statistikdaten Statistisches Bundesamt (2017)	82				
Zielszenario (BMWI 2014)		79	78	76	73
KS 80 (BMUB 2015)		79	78	76	74
K17 M (Nitsch 2017)		81	79	76	74
KS 95 (BMUB 2015)		79	78	76	74
THGND (UBA 2014)					72

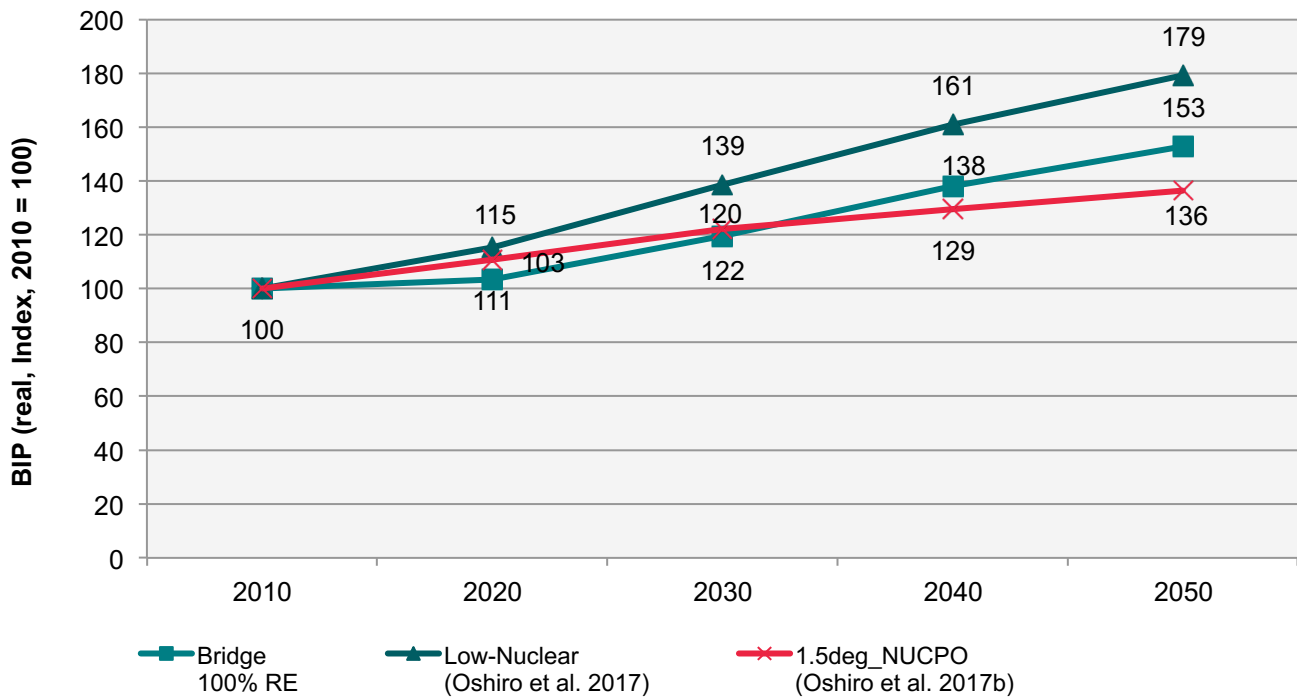


Abb. 4-1 Japanische Szenarien: Annahmen zum BIP (real, Index, 2010 = 100)

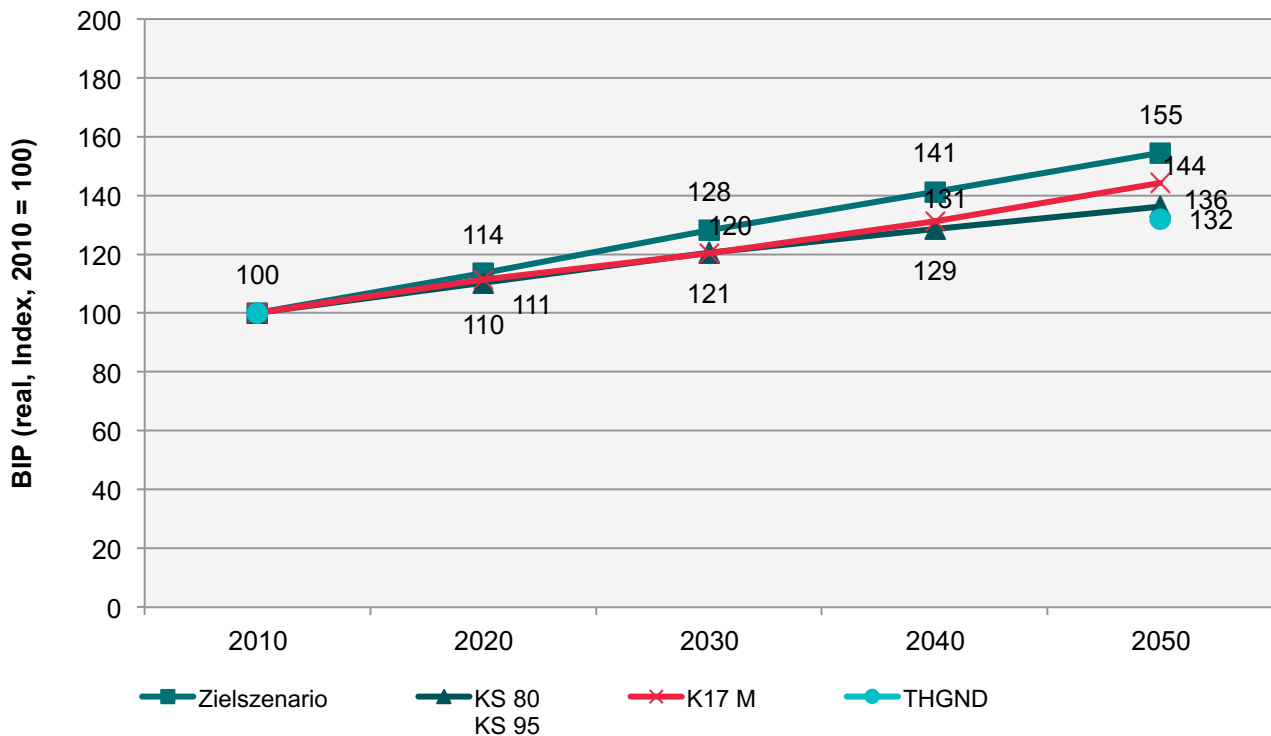


Abb. 4-2 Deutsche Szenarien: Annahmen zum BIP (real, Index, 2010 = 100)

Neben der Bevölkerungsentwicklung werden in allen Szenariostudien auch Annahmen zur Entwicklung des Bruttoinlandprodukts (BIP) getroffen. Wie in den Abbildungen 4-1 und 4-2 zu erkennen ist, unterstellen sowohl alle japanischen als auch alle deutschen Szenarien ein weiteres Wirtschaftswachstum. In Verbindung mit der zuvor dargestellten rückläufigen Bevölkerungsentwicklung bedeutet dies einen stetigen Anstieg der Pro-Kopf-Wirtschaftsleistung bis zum Jahr 2050.

Auch wenn diese allgemeinen Trends in allen Szenarien erkennbar sind, wird die Wirtschaftsdynamik in den kommenden Jahrzehnten im Detail sehr unterschiedlich eingeschätzt, insbesondere in den Japan-Szenarien. Die angenommenen durchschnittlichen Wachstumsraten zwischen 2010 und 2050 schwanken zwischen 0,7 % und 0,9 % für die Deutschland-Szenarien und zwischen 0,8 % und 1,5 % für die Japan-Szenarien. Interessanterweise liegen die Erwartungen bezüglich des BIP-Wachstums damit in den Szenarien für Japan tendenziell höher, als in den Szenarien für Deutschland, trotz des stärkeren erwarteten Bevölkerungsrückgangs in Japan und der damit einhergehenden stärkeren Alterung der Bevölkerung. Diese unterschiedlichen Annahmen überraschen auch vor dem Hintergrund der beobachteten durchschnittlichen Wachstumsraten der vergangenen zwei Jahrzehnte; diese lag in Deutschland deutlich höherer als in Japan (Deutschland: 1,4 %/a, Japan: 0,7 %/a) (OECD 2017).

Ceteris paribus wirkt sich ein höheres Wirtschaftswachstum steigend auf die Energienachfrage aus, da beispielsweise mehr produziert wird und sich die Menschen mehr Energiedienstleistungen (z. B. höhere Verkehrsleistung, mehr beheizter Wohnraum etc.) leisten können. Um bei weiterem Wirtschaftswachstum eine weitgehende Dekarbonisierung zu erreichen, muss den Szenarien zufolge in den kommenden Jahrzehnten eine starke absolute Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Energienachfrage erreicht werden.

4.2.2 Treibhausgasemissionen

Entsprechend des zentralen Auswahlkriteriums der Szenarien werden in allen analysierten Szenarien bis 2050 (und gegenüber 1990) Minderungen von mindestens 80 % und bis zu 100 % erreicht.

In den Deutschland-Szenarien ist der Rückgang mittelfristig annähernd vergleichbar und liegt – in den vier Szenarien für die Angaben für 2030 vorliegen – bis 2030 zwischen 55 bis 67 %. In Japan gibt es bezüglich der mittelfristigen Entwicklung deutlich größere Unterschiede zwischen den Szenarien, die Spannweite liegt bis 2030 bei -13 bis -46 %, wobei das kurz- bis mittelfristig ambitionierteste Szenario auch das mit Abstand älteste ist (GP 2011) und bereits kurzfristig (zwischen etwa 2010 und 2020) deutlich stärkere Emissionsrückgänge angenommen hat als in den letzten Jahren tatsächlich realisiert werden konnten.

Die großen Unterschiede bei den japanischen Szenarien für 2030 hängen wesentlich mit der Frage zusammen, ob bereits bis 2030 der Einsatz von Kohle vor allem in der Stromerzeugung reduziert werden kann (siehe dazu auch die Abbildungen zur Entwicklung des Primärenergieverbrauchs 4-7 bis 4-10 und zur Stromerzeugung 4-14 bis 4-17).

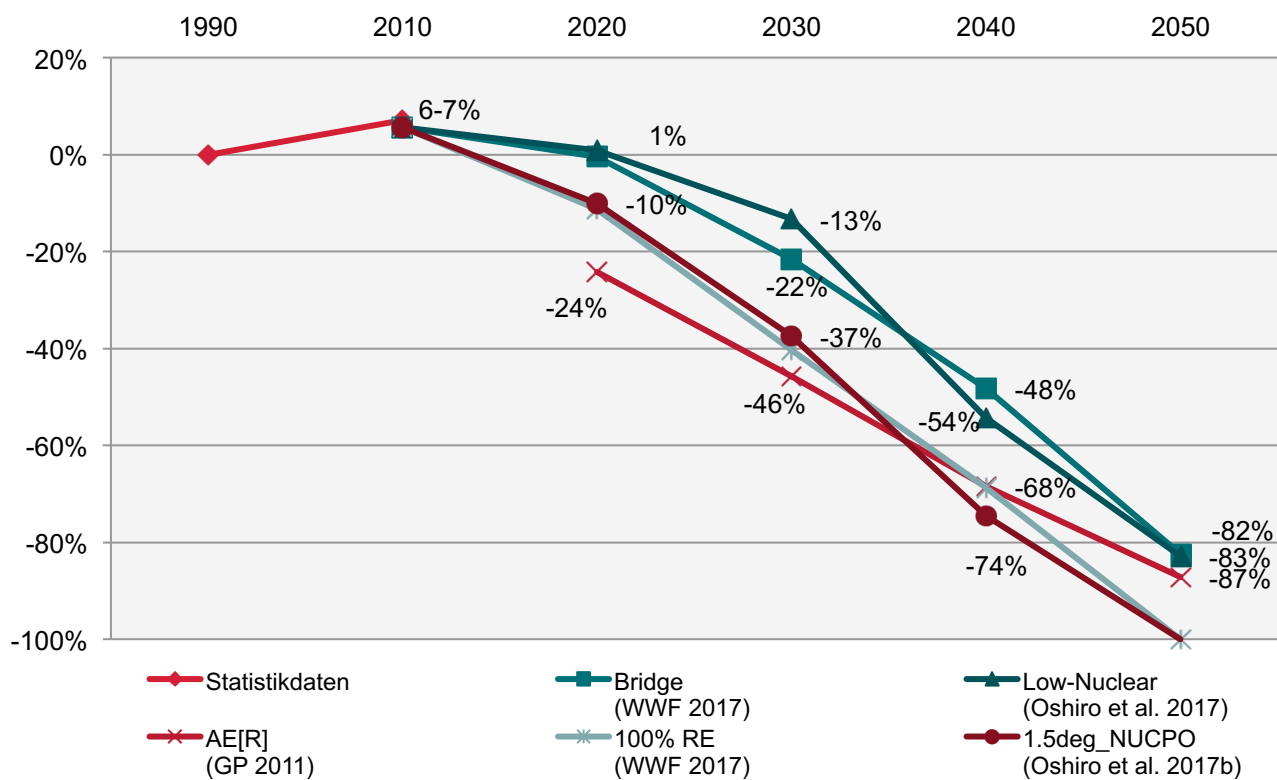


Abb. 4-3 Japanische Szenarien: Energiebedingte CO₂-Emissionen (Veränderung gegenüber 1990)

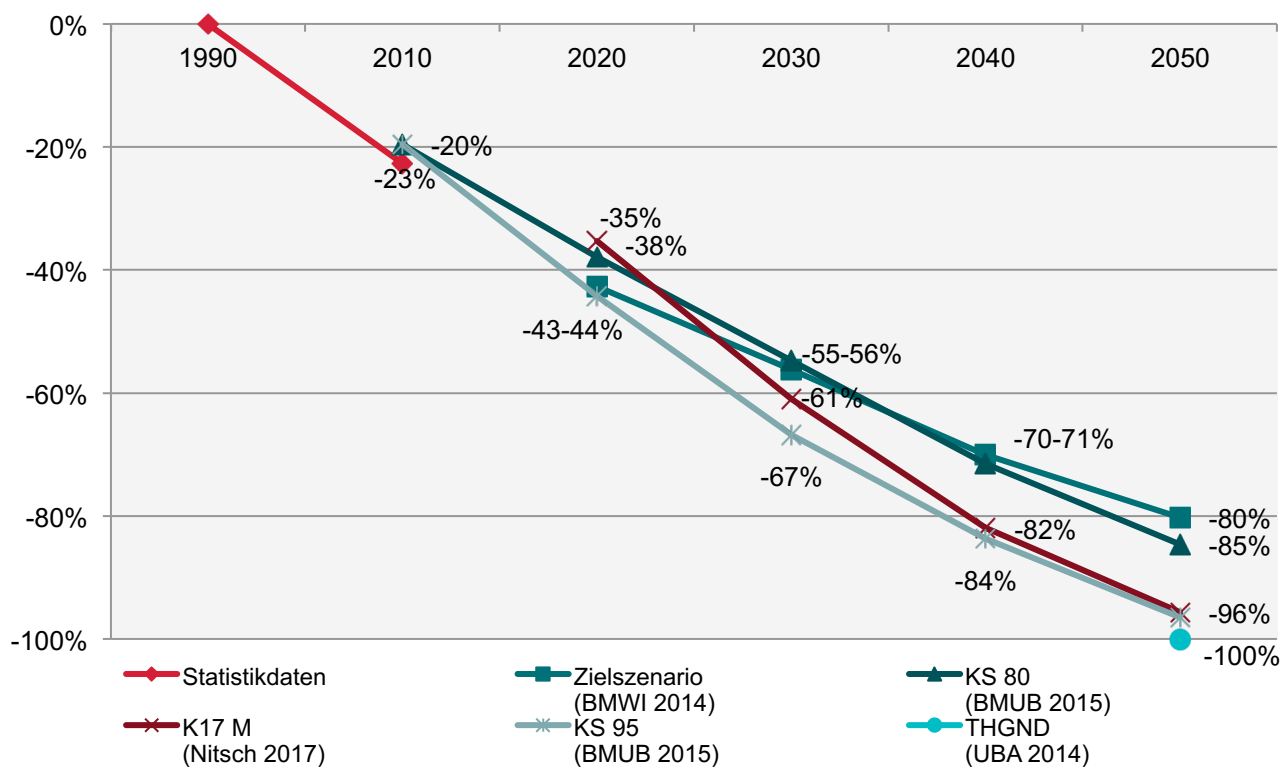
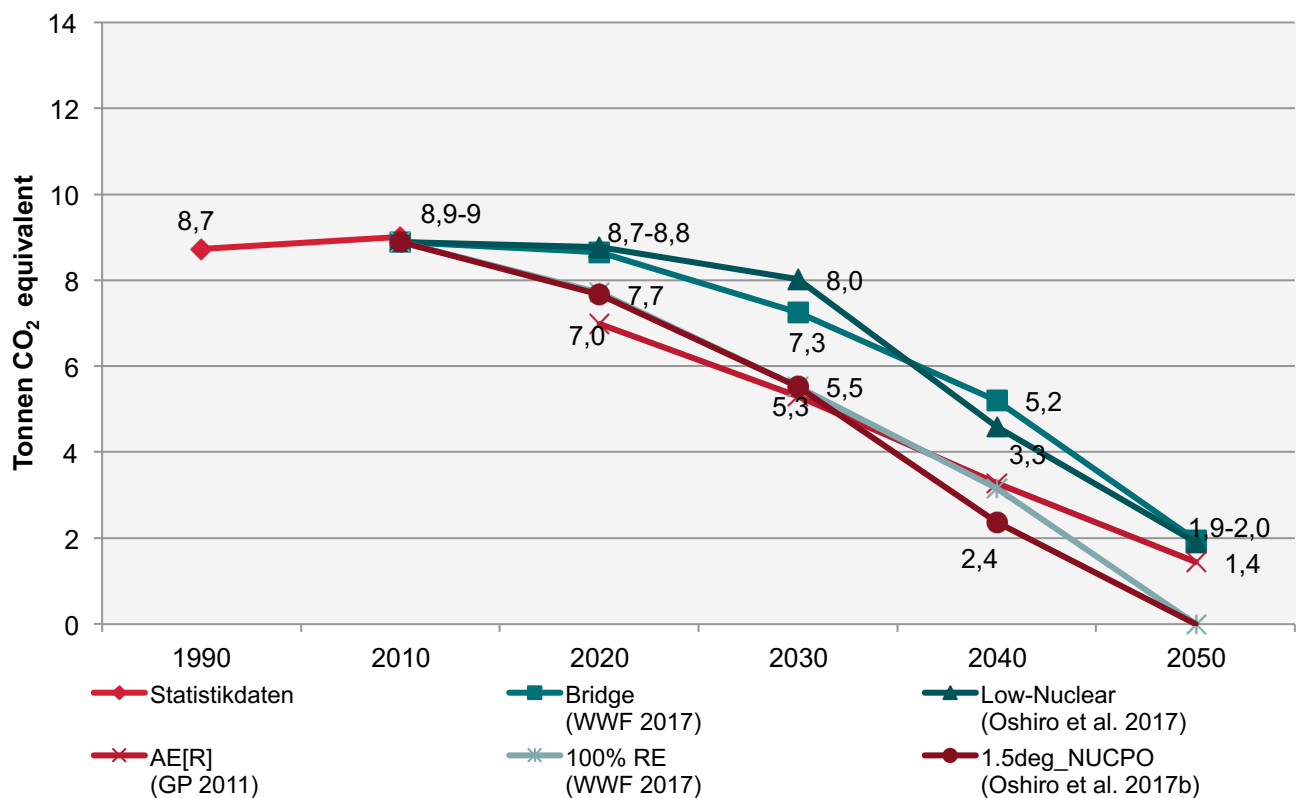
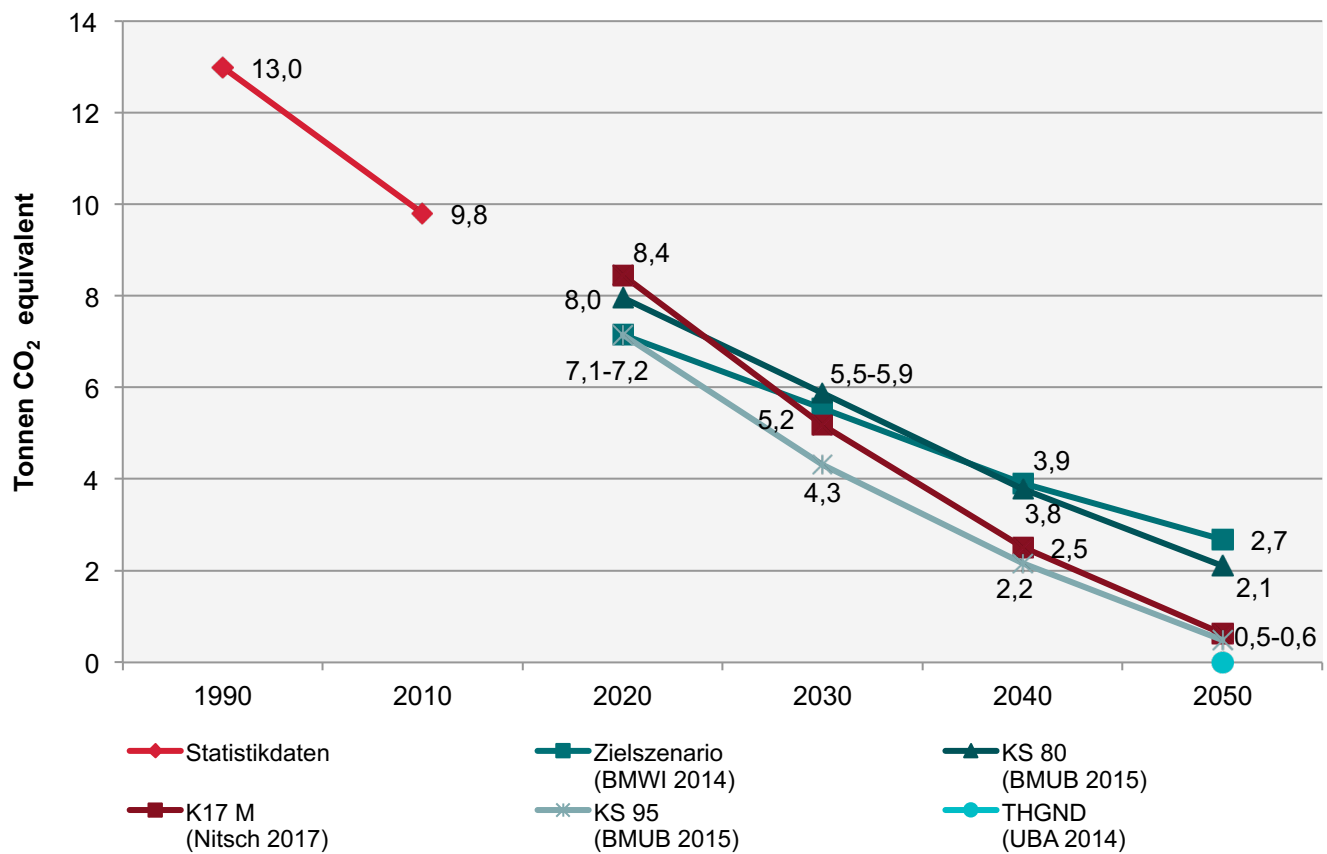


Abb. 4-4 Deutsche Szenarien: Energiebedingte CO₂-Emissionen (Veränderung gegenüber 1990)

In Bezug auf die energiebedingten CO₂-Emissionen pro Kopf zeigt die historische Entwicklung, dass sich die Werte in Deutschland seit 1990 bis zum Jahr 2010 stark reduziert haben, während in Japan die CO₂-Emissionen pro Kopf relativ stabil geblieben sind. Diese unterschiedliche Entwicklung kann zum Teil der politischen Entwicklung in Deutschland, namentlich dem Effekt der Wiedervereinigung zugeschrieben werden. Im Jahr 2010 lagen die pro-Kopf-Emissionen in Deutschland mit 9,8 t noch knapp eine Tonne über den pro-Kopf Emissionen von 8,9 t in Japan. In den Szenarien wird angenommen, dass sich die CO₂-Emissionen pro Kopf bis zum Jahr 2020 angleichen und in Abhängigkeit vom Szenario in beiden Ländern im Bereich zwischen 7,0 und 8,8 t liegen. Bis zu den Jahren 2030 und 2040 nehmen alle deutschen Szenarien eine weitere stetige Reduzierung an (2030 liegen die Emissionen in den Szenarien zwischen 4,3 bis 5,9 t/Kopf; 2040 liegen die Emissionen dann im Bereich zwischen 2,2 und 3,9 t/Kopf in Deutschland). Die japanischen Szenarien zeichnen hingegen unterschiedliche Verläufe der pro Kopf Emissionsentwicklung. Das Bridge Szenario (WWF 2017) und das Low-Nuclear Szenario (Oshiro 2017b) gehen bis 2030 von einer wesentlich langsameren Reduzierung der CO₂-Emissionen pro Kopf aus (2030 7,3 bzw. 8,0 t/Kopf) als die anderen drei Szenarien (2030 5,3-5,5 t/Kopf). Bis zum Jahr 2050 liegen sowohl die Werte der deutschen als auch der japanische Szenarien im Bereich zwischen 0 und 2,7 t/Kopf.

Abb. 4-5 Japanische Szenarien: Energiebedingte CO₂-Emissionen (in t/Kopf)Abb. 4-6 Deutsche Szenarien: Energiebedingte CO₂-Emissionen (in t/Kopf)

4.2.3 Primärenergiebedarf

Der Primärenergieverbrauch⁴ sinkt sowohl in allen Deutschland- als auch in allen Japan-Szenarien kontinuierlich und deutlich (vgl. Abb. 4-7 und 4-8). Relativ gesehen liegt der angenommene Rückgang für Japan und Deutschland in einer ähnlichen Größenordnung. In den Japan-Szenarien beträgt der Rückgang zwischen 2010 und 2050 43 bis 52 % und in den Deutschland-Szenarien 43 bis 55 %. Die wesentlichen Gründe für die Reduzierung des Primärenergiebedarfs sind angenommene Fortschritte in der Endenergieeffizienz (unterstützt durch höhere Effizienz infolge einer verstärkten Nutzung von Strom) sowie – infolge der angewendeten Wirkungsgradmethode – der Ersatz thermischer Kraftwerke durch nicht-thermische erneuerbare Stromerzeugung (siehe hierzu Diskussion der verschiedenen Klimaschutzstrategien in Kapitel 4.3).

Bei der Betrachtung der Reduzierung im Zeitablauf ist zunächst der stärkere Rückgang in den Deutschland-Szenarien gegenüber den Japan-Szenarien bis 2030 auffällig. Ein wesentlicher Grund für den starken Rückgang in Deutschland bis 2030 ist der seit 2010 erfolgte und in den Szenarien sich fortsetzende Ersatz thermischer Kraftwerke (Atomkraft und fossile Kraftwerke) durch Windenergie und Fotovoltaik (PV). Aufgrund der verwendeten Wirkungsgradmethode, um den Anteil von Strom aus Wind und PV in Primärenergieeinheiten auszudrücken, sorgt dieser Ersatz für einen Rückgang des Primärenergiebedarfs.

Neben dem bereits erwähnten Rückgang der verbrauchten Primärenergiemenge gibt es weitere Gemeinsamkeiten (fast) aller Szenarien für Deutschland und Japan (vgl. auch Abb. 4-9 und 4-10):

- Bereits mittelfristig (bis 2030) ist ein deutlicher absoluter und mit Ausnahme des japanischen „Low-Nuclear“-Szenarios auch relativer Rückgang der Kohlenutzung zu verzeichnen, der sich bis 2050 weiter fortsetzt.
- Mittelfristig (bis 2030) bleiben Erdöl (wenn auch reduziert) aber vor allem Erdgas sowohl für Deutschland als auch für Japan bedeutende Energieträger. Die Nutzung dieser Energieträger wird erst verstärkt zwischen 2030 und 2050 reduziert.
- Der absolute und relative Beitrag der erneuerbaren Energien steigt in beiden Ländern kontinuierlich an.
- Die Nutzung von Atomenergie wird in Deutschland und Japan langfristig eingestellt. Während alle Deutschland-Szenarien den beschlossenen Atomausstieg bis 2022 abbilden, zeigt sich bei den japanischen Szenarien ein differenzierteres Bild. Die Japan-Szenarien „AE[R]“ sowie „Bridge“ und „100% RE“ bilden einen frühen Ausstieg aus der Atomenergie ab, bei dem 2030 keine bzw. nur sehr geringe Anteile des Primärenergiebedarfs durch Atomenergie gedeckt werden. Die anderen beiden japanischen Szenarien projizieren den Atomausstieg erst zwischen 2040 und 2050. Während der Ausstieg aus der Atomenergie in Deutschland ein breiter gesellschaftlicher und ge-

⁴ Der Primärenergieverbrauch wird hier mit der in Deutschland seit 1995 üblichen Wirkungsgradmethode, die auch von internationalen Organisationen wie IEA, EUROSTAT oder ECE angewandt bzw. empfohlen wird, dargestellt.

setzlich abgesicherter Konsens ist, spiegeln die ausgewählten Szenarien für Japan diesbezüglich nicht die volle Breite der kontroverse Diskussion um die kurz- wie auch langfristige Rolle der Kernenergie wieder.⁵

Neben diesen Gemeinsamkeiten zeigen sich aber auch deutliche Unterschiede zwischen den Szenarien für die einzelnen Länder und zwischen Deutschland und Japan. So zeigen sich starke Differenzen in Bezug auf den Umfang und die Zusammensetzung der genutzten fossilen Energieträger im Jahr 2050. Diese Unterschiede hängen mit den unterschiedlichen Klimaschutzambitionsniveaus sowie mit dem Umfang der Nutzung bestimmter Technologien zusammen. Insbesondere die Frage der Nutzung von CCS spielt eine Rolle für den Anteil von fossilen Energieträgern im Jahr 2050. Szenarien, in denen die Nutzung von Abscheidung und Speicherung von Kohlendioxid (CCS) für Kraftwerke und/oder Industriebetriebe vorgesehen ist, können natürlich bei ähnlichen Reduzierungszielen eine höhere Nutzung fossiler Energieträger aufweisen als Szenarien ohne Nutzung von CCS.

⁵ Viele Szenariostudien für Japan enthalten auch Szenarien, die weiterhin Atomkraft als eine der Schlüsseltechnologie zur langfristigen Dekarbonisierung in Japan sehen. Die hier ausgewählten Szenarien setzen jedoch vermehrt auf den Ausbau erneuerbarer Energien, was den langfristigen Bedarf an Atomenergie zur Deckung der Stromnachfrage reduziert. Die Auswahl spiegelt somit Dekarbonisierungsstrategien wieder, die nicht nur eine Reduzierung der Treibhausgase anstreben, sondern auch weiteren Nachhaltigkeitsgesichtspunkten Rechnung tragen.

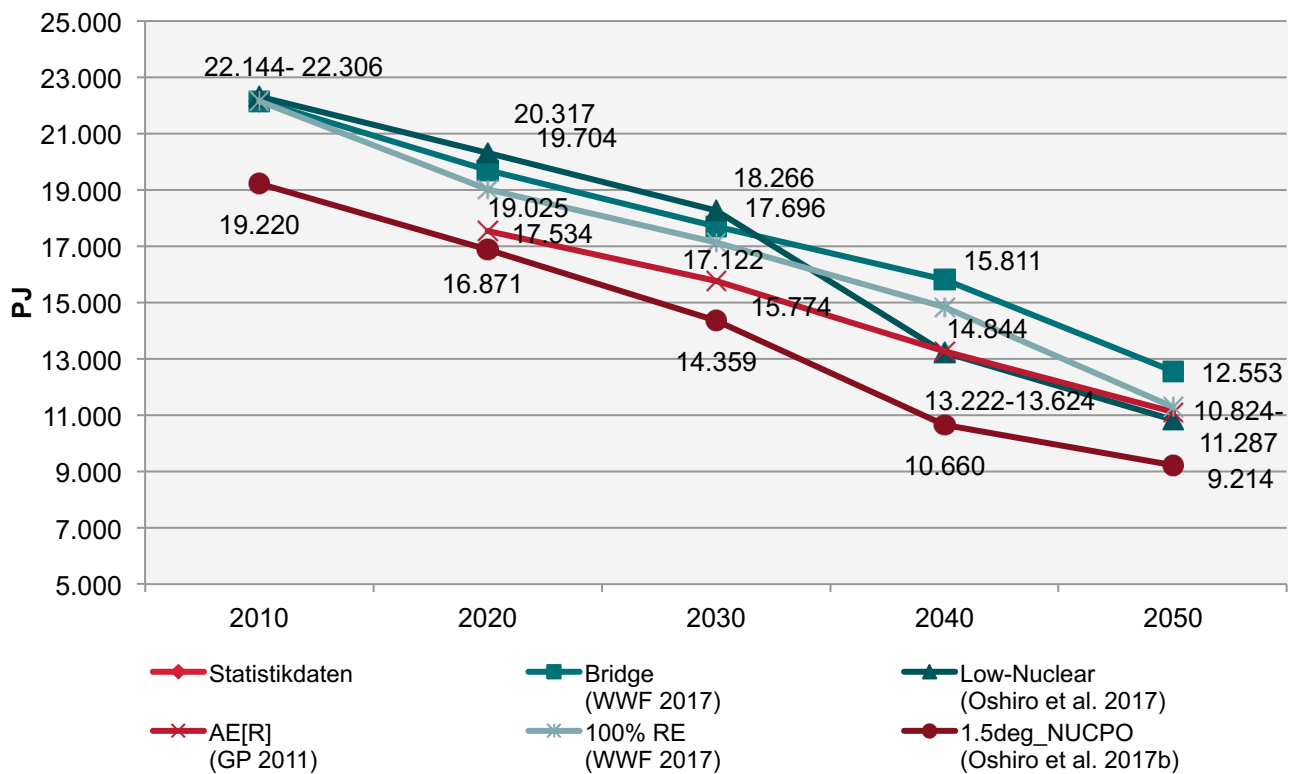


Abb. 4-7 Japanische Szenarien: Primärenergieverbrauch (in PJ) (ohne nicht-energetischen Verbrauch)

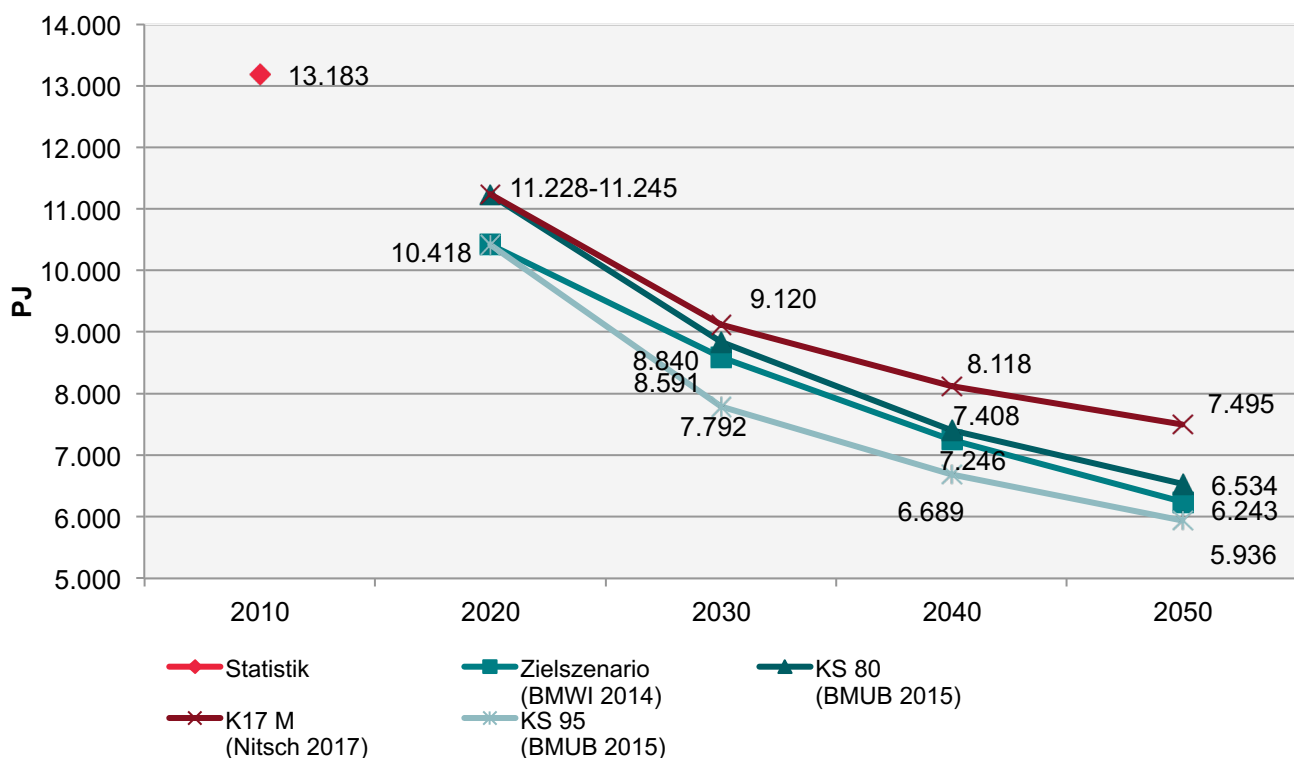


Abb. 4-8 Deutsche Szenarien: Primärenergieverbrauch (in PJ) (ohne nicht-energetischen Verbrauch)

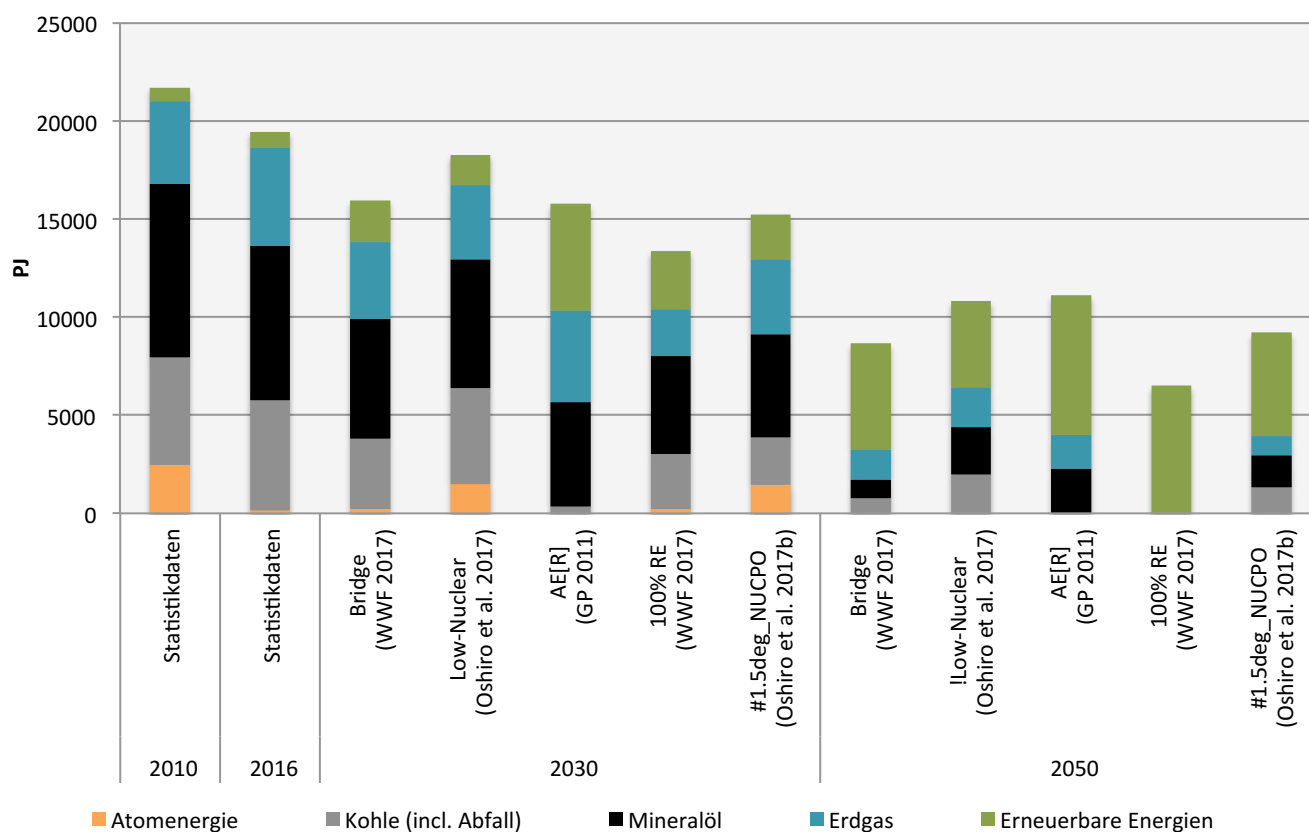


Abb. 4-9 Japanische Szenarien: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (in PJ) (ohne nicht-energetischen Verbrauch)

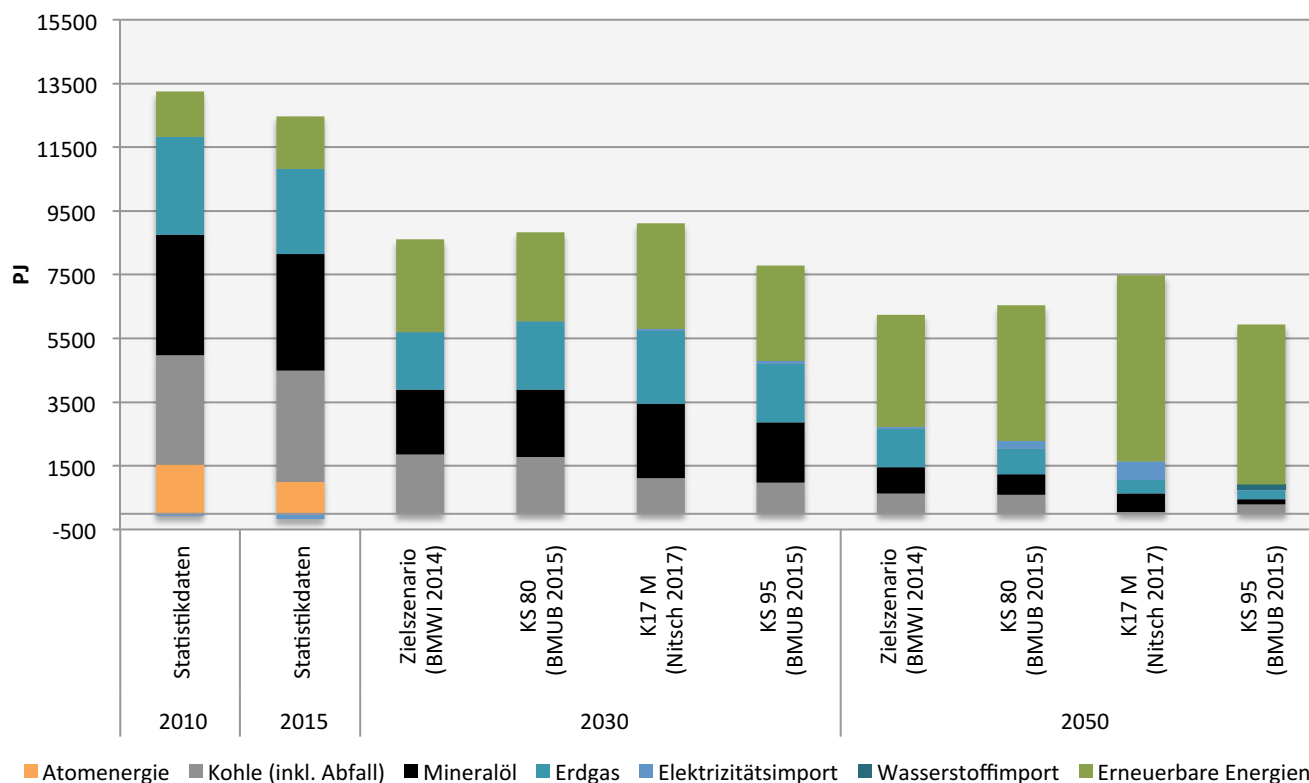


Abb. 4-10 Deutsche Szenarien: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (in PJ) (ohne nicht-energetischen Verbrauch)

4.2.4 Endenergiebedarf

In diesem Abschnitt werden die deutschen Szenarien bezüglich des Endenergiebedarfs nach Energieträgern verglichen. Für die japanischen Szenarien erscheint solch ein Vergleich aufgrund unzureichender Angaben zum Endenergiebedarf in den Szenarien nicht sinnvoll. Für beide Länder gilt zudem, dass die Abgrenzung der Endenergiesektoren nicht einheitlich erfolgt, weswegen auf einen Vergleich nach Sektoren, mit Ausnahme des Verkehrssektors, verzichtet wird⁶.

Für die deutschen Szenarien zeigt sich, dass der Endenergiebedarf in allen Szenarien deutlich sinkt, von heute rund 9.000 PJ auf – je nach Szenario – etwa 4.000 bis 5.500 PJ im Jahr 2050. Die Gründe hierfür sind die unterstellten deutlichen Fortschritte in der Endenergieeffizienz, teilweise unterstützt durch Elektrifizierung in verschiedenen Bereichen, zum Beispiel durch die steigende Verbreitung von Elektroautos (siehe hierzu auch Abschnitt 4.3.1) sowie der erwartete Rückgang der Bevölkerung. Teilweise werden in den Szenarien, insbesondere im KS 95-Szenario, zusätzlich auch Verhaltensänderungen (z. B. Absenkung der Raumtemperaturen im Winter oder eine Verkehrsverlagerung hin zu energieeffizienteren Verkehrsmitteln wie ÖPNV oder Fahrrad) angenommen, die zum Rückgang beim Endenergieverbrauch beitragen.

Bezüglich der eingesetzten Energieträger fällt auf, dass die fossilen Energieträger deutlich an Bedeutung verlieren, insbesondere nach 2030. In allen Szenarien gewinnt zudem Strom für den Endenergiebedarf an Bedeutung. Zudem wird in den meisten Szenarien eine ansteigende direkte Nutzung erneuerbarer Energien in der Form von Biomasse, Solarthermie und Umweltwärme bis 2050 angenommen. In zwei der betrachteten Szenarien nehmen zudem Wasserstoff und/oder daraus gewonnene synthetische Kraft- und Brennstoffe bis Mitte des Jahrhunderts eine bedeutende Rolle ein, dies gilt in besonderem Maße für das „radikale“ THGND-Szenario des Umweltbundesamt (UBA) und – wenn auch in wesentlich geringerem Maße – für das K17 M-Szenario. (siehe hierzu auch die Diskussion der Bedeutung der direkten und indirekten Elektrifizierung in Abschnitt 4.3.2).

Wird der Endenergiebedarf im Verkehrssektor in den deutschen und japanischen Szenarien betrachtet, zeigt sich, dass sowohl innerhalb der beiden Länder als auch zwischen Japan und Deutschland relative große Unterschiede bei den Einschätzungen des Umfangs des Endenergiebedarfs und der Strategien zur mittel- bis langfristigen Dekarbonisierung im Verkehrssektor bestehen.

Ein Unterschied zeigt sich beispielsweise in der Einschätzung, wie schnell mittelfristig (bis 2030) der Bedarf an Mineralölprodukten reduziert werden kann. Während das Low-Nuclear-Szenario für Japan eine relative geringe Reduzierung des Mineralölbedarfs annimmt, erwarten das AE[R]- und das 1.5_deg NUCPO-Szenario bereits 2030 deutliche Reduzierungen.

Bis 2050 zeigen sich zudem in beiden Ländern deutliche Unterschiede in den Erwartungen bezüglich der Bedeutung verschiedener Dekarbonisierungsstrategien im Ver-

⁶ Eine einheitliche Abgrenzung von Endenergiesektoren und eine einheitliche Definition von Endenergie innerhalb einzelner Länder aber auch auf internationaler Ebene wäre wünschenswert, um den Vergleich von Energieszenarien unterschiedlicher Länder zu vereinfachen und damit auch das Potenzial zu erhöhen, voneinander zu lernen.

kehrssektor. Zum einen wird die Diffusionsgeschwindigkeit und das langfristige Ausmaß der Elektromobilität unterschiedlich eingeschätzt (vgl. Abb. 4-12 und 4-13). Ebenfalls unterschiedlich wird die langfristigen Bedeutung von Biokraftstoffen im zukünftigen Verkehrssystem eingeschätzt. Während Biokraftstoffe beispielsweise im Low-Nuclear-Szenario keine Rolle spielen, stellen sie bei den anderen beiden Japan-Szenarien einen nicht unwichtigen Teil der Endenergie im Verkehrssektor. Ähnliche Unterschiede zeigen sich auch für die deutschen Szenarien, während Biokraftstoffe z. B. im Zielszenario einen signifikanten Teil der Endenergienachfrage decken, wird keine Nutzung biogener Kraftstoffe im THGND-Szenario angenommen.

Und auch bei der zukünftigen Nutzung von Wasserstoff und/oder synthetischen Kraftstoffen zeigen sich starke Unterschiede. Während für Deutschland das THGND-Szenario einen radikalen Ausbau dieser Kraftstoffe vorsieht und Wasserstoff/synthetische Kraftstoffe auch in zwei weiteren Deutschland-Szenarien (K17 M und KS 95) eine wichtigere Rolle spielen, scheint in den japanischen Szenarien diese Dekarbonisierungsstrategie für den Verkehrssektor weniger relevant zu sein. Dies ist besonders interessant, weil die Szenarien nicht die vorherrschenden Forschungssituationen und Verkehrsvisionen in beiden Ländern widerzuspiegeln scheinen. Beispielsweise gibt es in Japan wesentlich umfangreichere Forschung zur Rolle und Nutzung von Wasserstoff im Verkehrssektor, als dies in Deutschland der Fall ist.

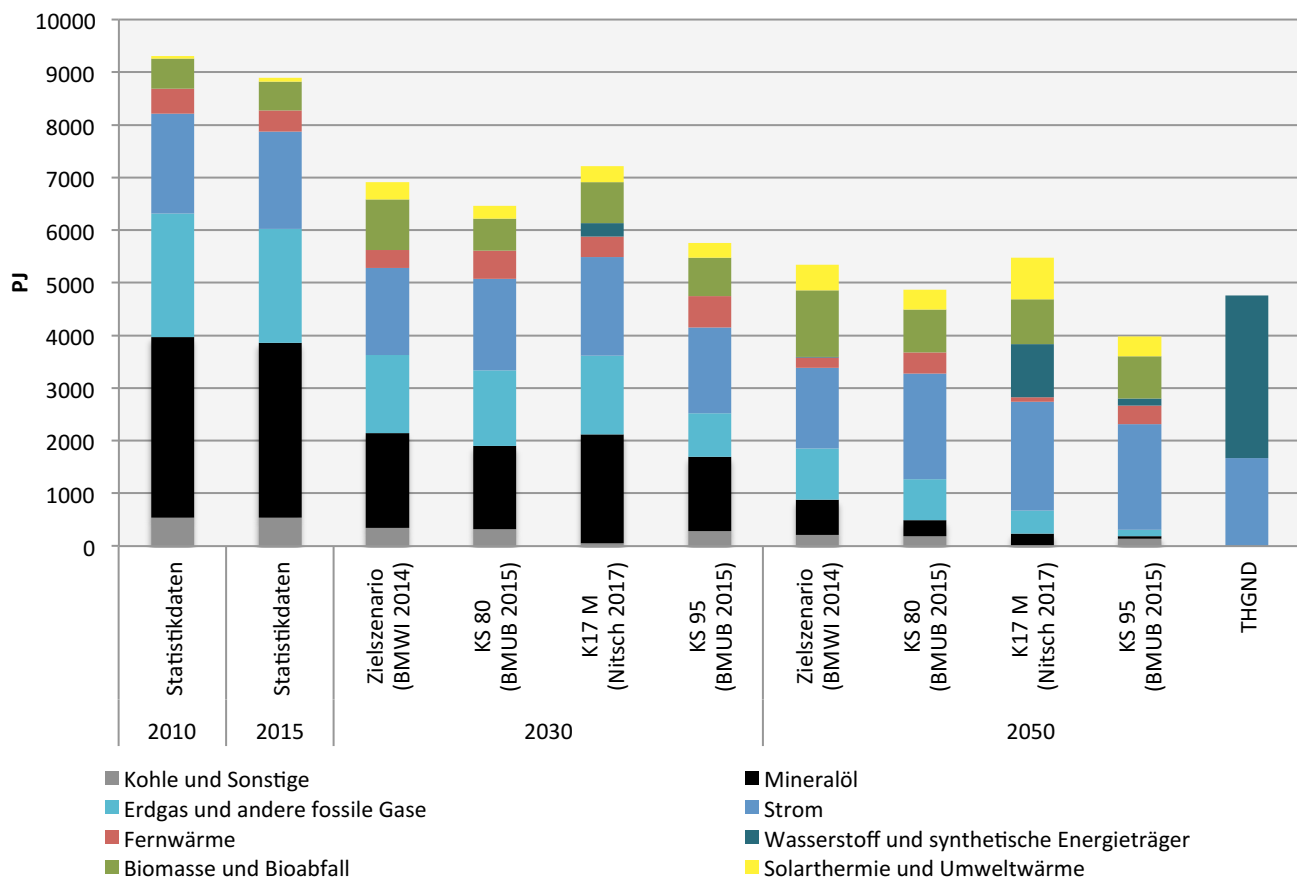


Abb. 4-11 Deutsche Szenarien: Endenergiebedarf nach Energieträgern (in PJ)

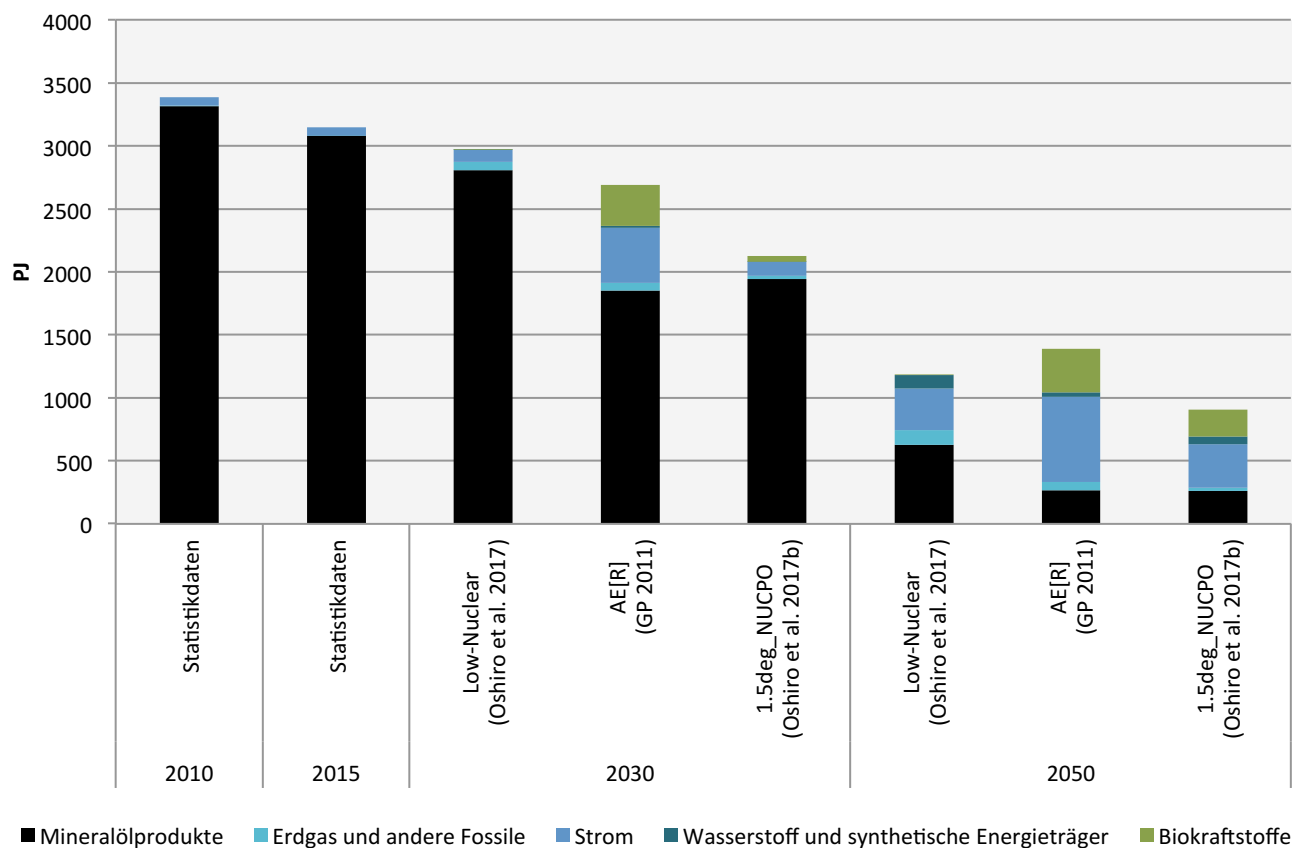


Abb. 4-12 Japanische Szenarien: Endenergiebedarf im Verkehrssektor nach Energieträgern (in PJ)

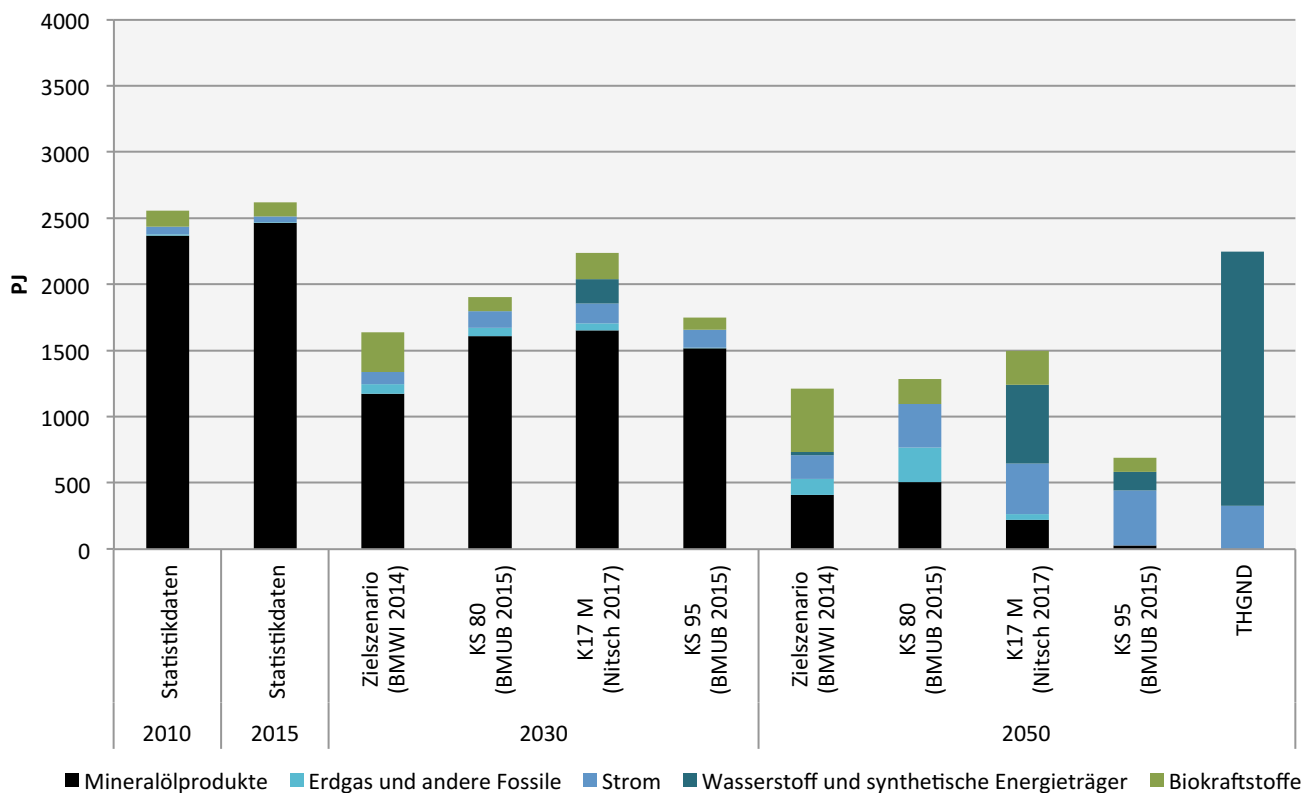


Abb. 4-13 Deutsche Szenarien: Endenergiebedarf im Verkehrssektor nach Energieträgern (in PJ)

4.2.5 Elektrizitätssektor

Für den Elektrizitätssektor zeigen sich grundsätzliche Ähnlichkeiten in der Entwicklung zwischen den Szenarien sowohl innerhalb eines Landes als auch im Ländervergleich Japan und Deutschland. Zum einen verlieren sowohl Kohle als auch Atomkraft bereits mittelfristig (2030) deutlich an Bedeutung. In Japan wird von den Szenarien im Jahr 2030 ein Kohleanteil im Bereich zwischen null und 23 % angenommen. In Deutschland liegen die Angaben der untersuchten Szenarien für 2030 im Bereich zwischen 9 und 29 %. Bis 2050 sinkt dieser Anteil in allen japanischen Szenarien auf null und bei den deutschen Szenarien auf Werte zwischen null und 7 %.

Der Anteil des Atomstroms liegt entsprechend des beschlossenen Atomausstiegs im Jahr 2022 in Deutschland bereits 2030 bei null. In Japan steigt der Anteil des Atomstroms, ausgehend von den Statistikwerten aus dem Jahr 2015, in den meisten Szenarien zunächst wieder an. Der Umfang des Anstiegs reflektiert die unterschiedlichen Annahmen der Szenarien bezüglich der Wiederinbetriebnahme von Atomreaktoren nach dem Atomunfall im Atomkraftwerk Fukushima-Daiichi im Jahr 2011. Im Jahr 2030 liegt der erwartete Anteil von Atomenergie an der Stromerzeugung in Japan in Abhängigkeit des Szenarios zwischen null und 18 % und somit unter den Werten von 2010 vor dem Unfall im Atomkraftwerk Fukushima-Daiichi, als noch 25 % der Elektrizität in Japan von Atomkraftwerken erzeugt wurden. Im Jahr 2050 wird dann in keinem der ausgewählten japanischen Szenarien mehr Atomenergie genutzt.

Im Gegensatz zu Kohle und Atomenergie spielt Gas mittelfristig (bis 2030) sowohl in Japan als auch in Deutschland weiterhin eine wichtige Rolle in der Stromerzeugung. Und in Japan spielt Gas in einigen Szenarien, wie etwa dem Low-Nuclear- und dem AE[R]-Szenario auch 2050 noch eine relevante Rolle.

Zwei der japanischen Szenarien sehen zudem den Einsatz von CCS vor, in einem Fall (1.5deg_NUCPO) auch in Kombination mit Biomasse (BECCS), womit „negative Emissionen“ erreicht werden können. Durch diese negativen Emissionen kann in dem letztgenannten Szenario trotz eines sehr hohen Minderungsziels bei den Treibhausgasemissionen auch 2050 noch eine Resterzeugung von Elektrizität mit fossilem Gas von immerhin 6 % (teilweise inkl. CCS) realisiert werden. Im Low Nuclear-Szenario liegt der Anteil fossiler Energieträger im Jahr 2050 sogar noch bei 20 %, wobei für den Großteil dieser Stromerzeugung die Nutzung von CCS-Technologie angenommen wird.

Mitte des Jahrhunderts dominieren in der Stromerzeugung aber in allen Szenarien sowohl für Deutschland als auch für Japan eindeutig die erneuerbaren Energien, mit Anteilen von 83 bis 100 % in den Deutschland-Szenarien und 80 bis 100 % in den Japan-Szenarien. Der mittelfristige Erneuerbaren-Zubau wird in den Deutschland-Szenarien grundsätzlich dynamischer eingeschätzt als in den Japan-Szenarien, in denen die Erneuerbaren-Anteile 2030 in Abhängigkeit vom Szenario noch im Bereich von 31 bis 57 % liegen und erst danach stark ansteigen.

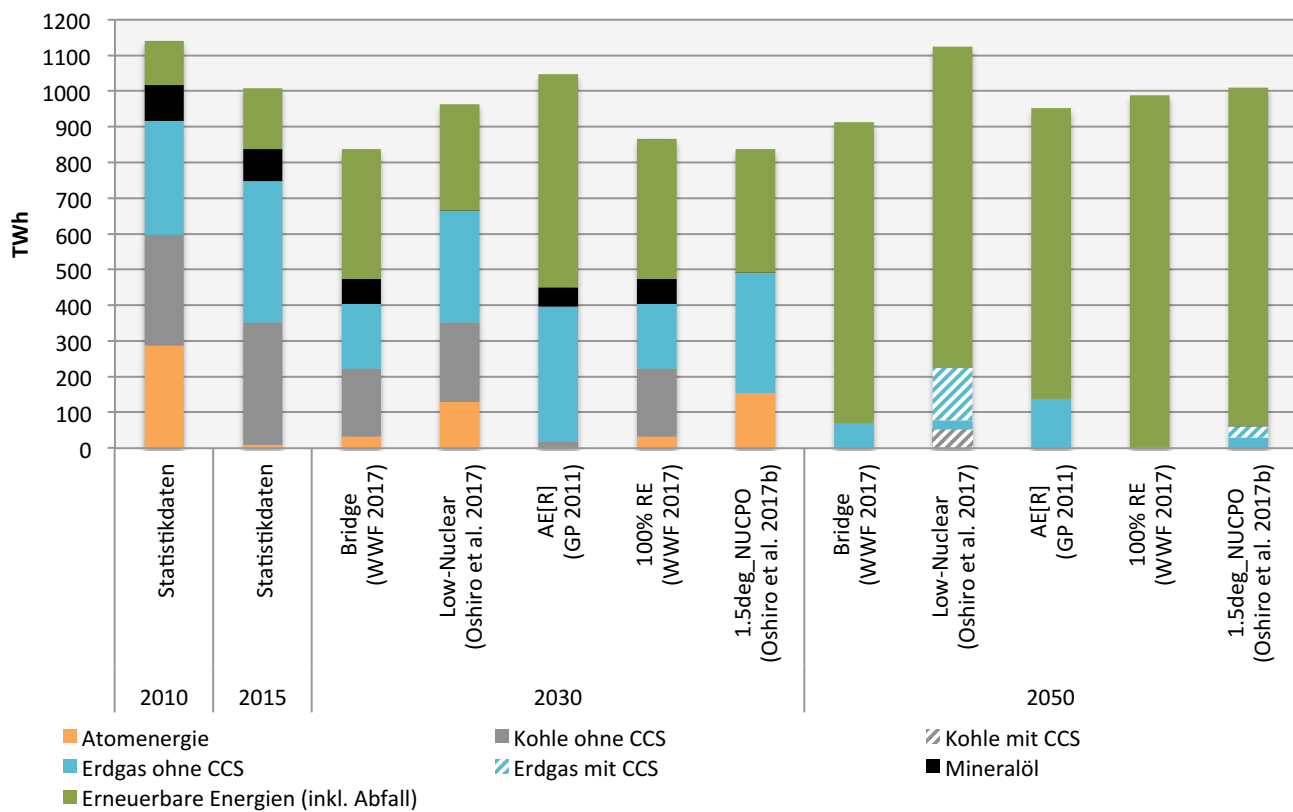


Abb. 4-14 Japanische Szenarien: Stromerzeugung nach Energieträgern (in TWh, ohne Importe)

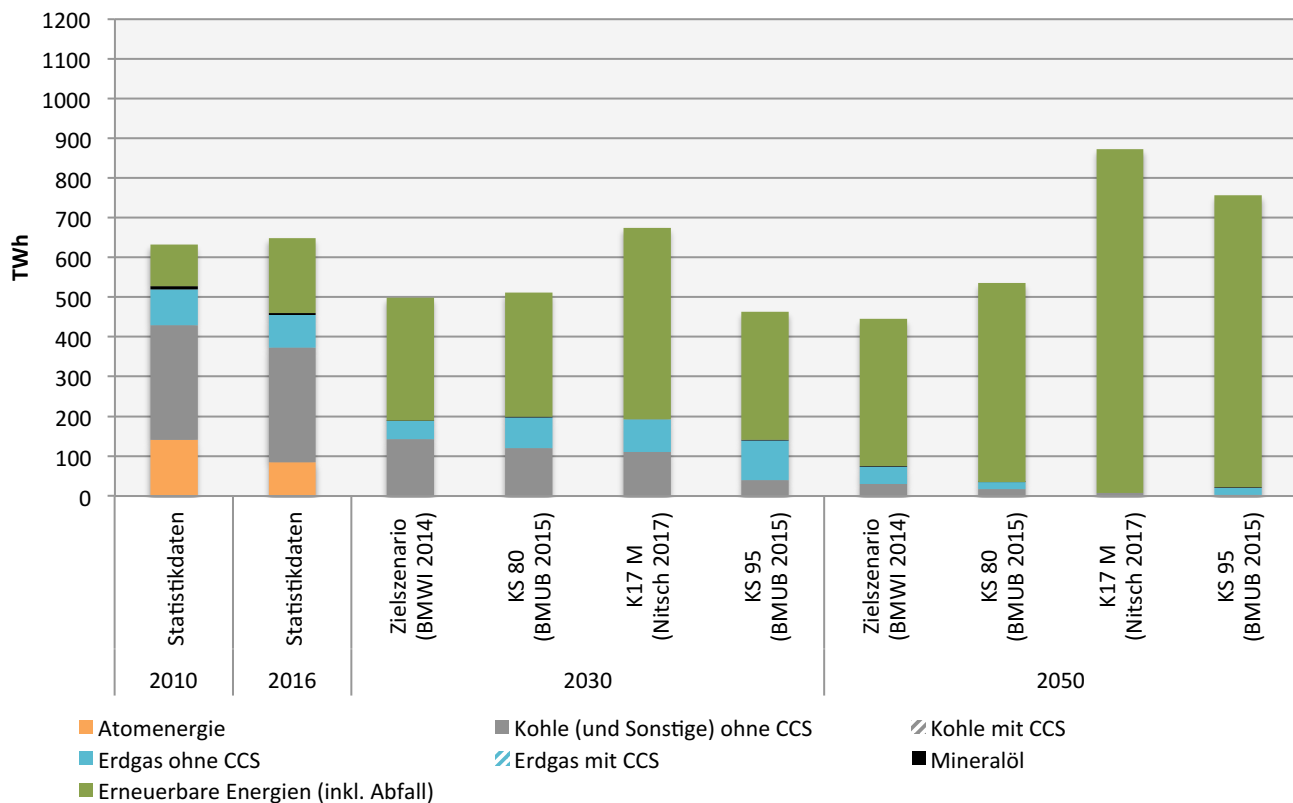


Abb. 4-15 Deutsche Szenarien: Stromerzeugung nach Energieträgern (in TWh, ohne Importe)

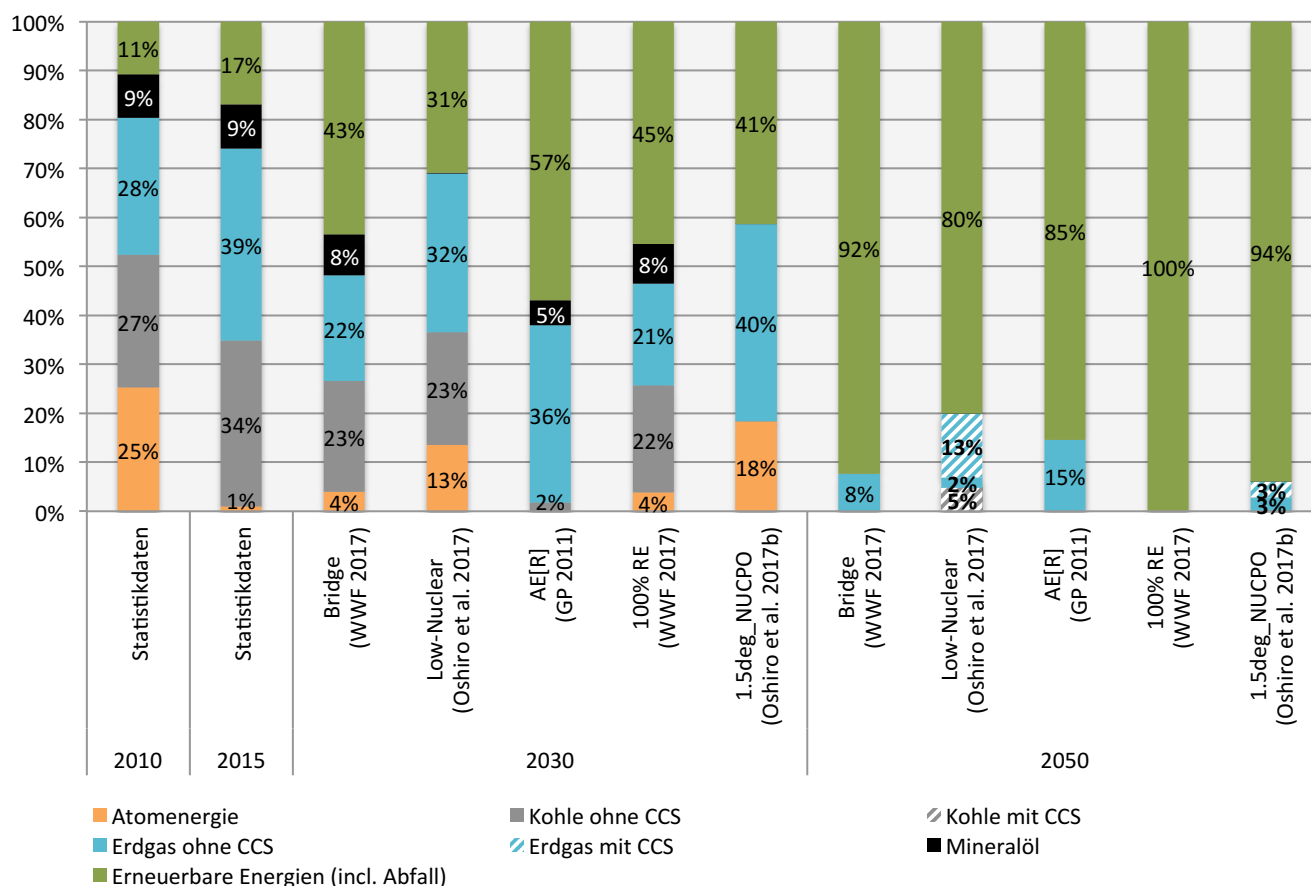


Abb. 4-16 Japanische Szenarien: Stromerzeugung nach Energieträgern (in %, ohne Importe)

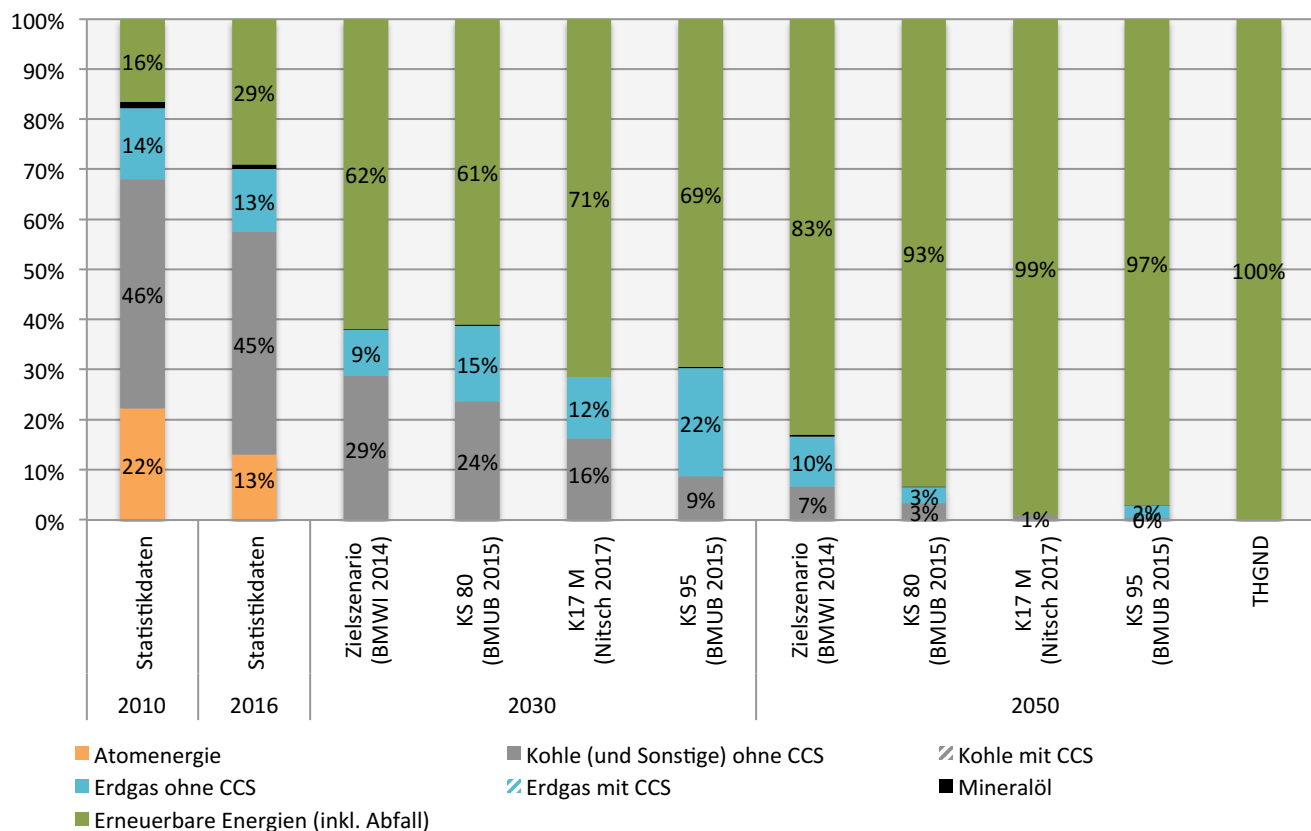


Abb. 4-17 Japanische Szenarien: Stromerzeugung nach Energieträgern (in %, ohne Importe)

4.3 Vergleich der Dekarbonisierungsstrategien für Japan und Deutschland in den analysierten Szenarien

4.3.1 Reduktion des Endenergiebedarfs

Bis Mitte des Jahrhunderts wird in allen betrachteten japanischen wie auch deutschen Klimaschutzszenarien eine deutliche Reduktion des Endenergiebedarfs unterstellt. Zwischen 2010 und 2050 beträgt der Rückgang in den Deutschland-Szenarien zwischen 41 % und 57 % und in den Japan-Szenarien zwischen 39 % und 57 %. Gegenüber einer Business-as-Usual-Entwicklung können insbesondere die folgenden beiden Strategien zu einem Rückgang des Endenergiebedarfs beitragen:

- Verbesserungen der Endenergieeffizienz
- Verhaltensänderungen

Verbesserungen der Endenergieeffizienz

Mit „Verbesserungen der Endenergieeffizienz“ sind Verbesserungen der Energieeffizienz in den Endenergiesektoren gemeint. Beispiele sind energetische Gebäudesanierungen, der Austausch von Glühbirnen durch LED-Leuchtmittel oder der Wechsel von Autos mit Verbrennungsmotoren zu Elektroautos. Leider liegen für die untersuchten Szenarien keine ausreichend detaillierten und vergleichbaren Angaben zu den unterstellten Effizienzverbesserungen einzelner Anwendungen vor, was die Bewertung und den Vergleich der Szenarien in Hinblick auf diese Strategie erschwert.

Die folgenden Abbildungen nähern sich einer Einschätzung des Umfangs der jeweils unterstellten Endenergieeffizienzverbesserungen über den Indikator der durchschnittlichen jährlichen Steigerungsrate der Endenergieproduktivität. Hohe Steigerungsraten deuten auf deutliche Verbesserungen der Endenergieeffizienz hin.⁷ Aus den Abbildungen wird zunächst ersichtlich, dass alle betrachteten Szenarien in den kommenden Jahrzehnten gegenüber dem Vergleichszeitraum 2000 bis 2015 deutlich stärkere Steigerungen der Endenergieproduktivität annehmen. In Deutschland lag die durchschnittliche Rate bei 1,4 %/a, während sie in den Deutschland-Szenarien zwischen 2010 und 2050 zwischen 2,1 % und 2,7 % liegt. In Japan hingegen lag die Rate zwischen 2000 und 2015 bei durchschnittlich 1,7 %, während sie in den Szenarien zwischen 2010 und 2050 zwischen 2,2 % und 3,0 % beträgt. Grundsätzlich wird in den untersuchten Szenarien betont, dass diese stärkeren Verbesserungen durch eine beschleunigte Verbreitung hocheffizienter Technologien sowie durch den absehbaren technischen Fortschritt erreicht werden könnten.

⁷ Allerdings ist zu beachten, dass die Endenergieproduktivität nicht nur durch Verbesserungen der Endenergieeffizienz beeinflusst wird. Zu den weiteren beeinflussenden Faktoren gehören die zukünftige Entwicklung der Wirtschaftsstruktur sowie die mögliche zukünftige energiesparende bzw. klimaschonenden Verhaltensänderungen der Bevölkerung. Ohne deutlich detailliertere Angaben aus den untersuchten Szenarien lässt sich jedoch nicht präzise bestimmen, wie hoch der jeweilige Einfluss der verschiedenen Faktoren auf die beobachteten Änderungen der Endenergieproduktivität ist.

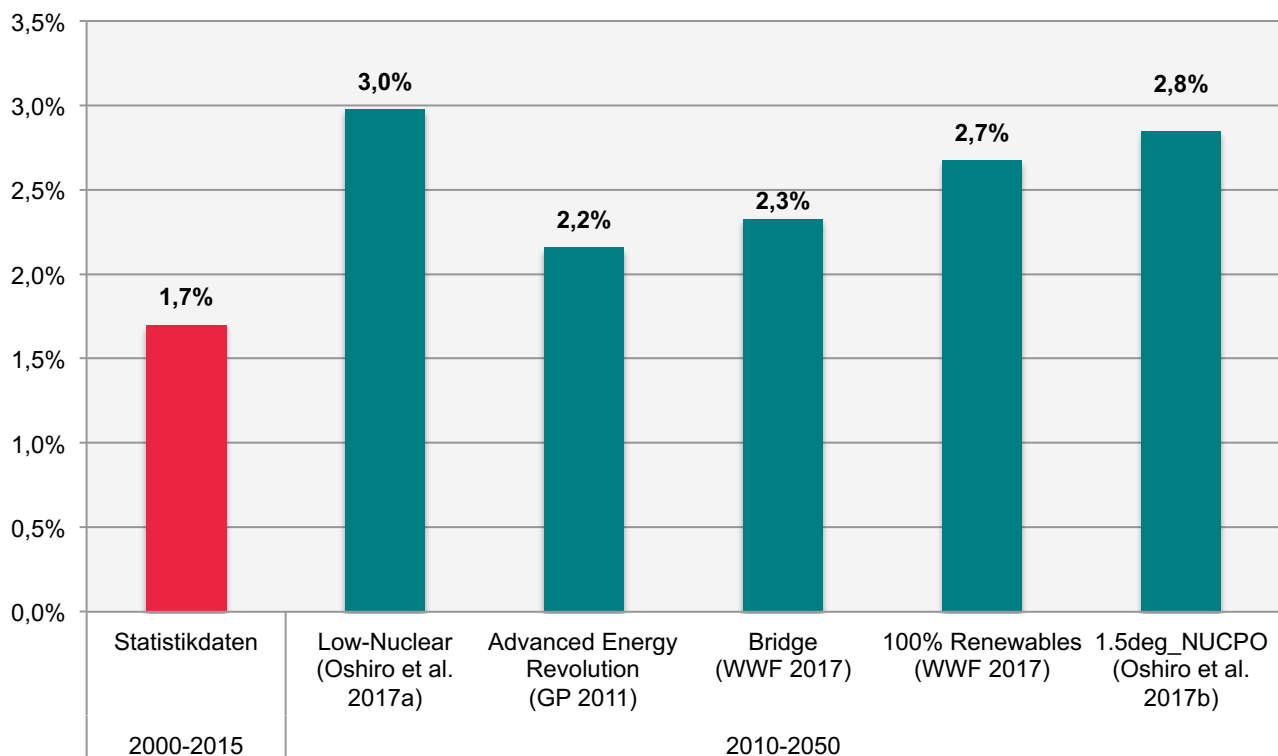


Abb. 4-18 Endenergieproduktivität in Japan-Szenarien (in %)

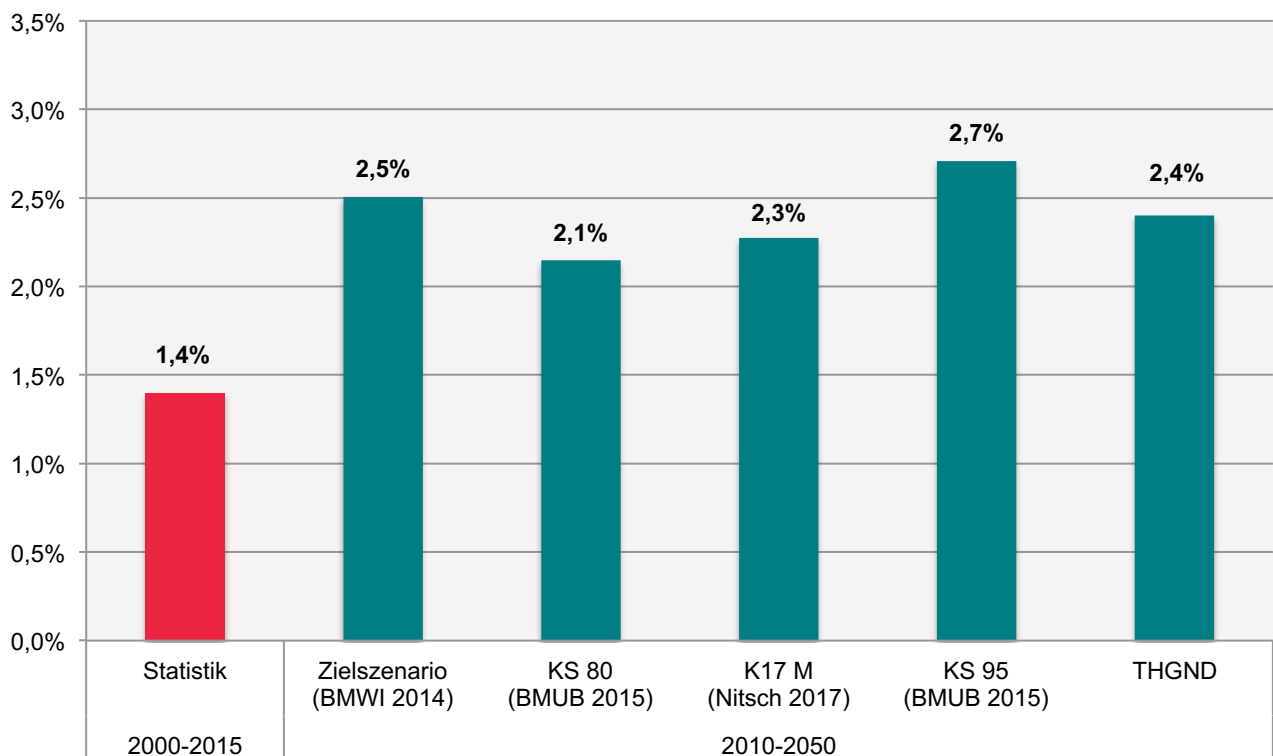


Abb. 4-19 Endenergieproduktivität in Deutschland-Szenarien (in %)

Die in allen Szenarien – wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß (vgl. Abschnitt 4.3.2) – unterstellte stärkere Elektrifizierung trägt zu den Verbesserungen der Endenergieeffizienz bei, da insbesondere Elektroautos eine deutlich höhere Endenergieeffizienz aufweisen als Autos mit Verbrennungsmotoren. Allerdings legt eine vereinfachte Berechnung nahe, dass die Verbesserung der Endenergieproduktivität in den Szenarien auch ohne die unterstellte Elektrifizierung im Verkehrssektor (z. T. deutlich) über den historischen Werten liegen würden. Würde beispielsweise in Japan im Jahr 2050 der gesamte Strombedarf im Verkehrssektor durch fossile Energieträger – bei einer unterstellten schlechteren Effizienz im Verhältnis von 1:2,5 – ersetzt, so läge die durchschnittliche Steigerung der Endenergieproduktivität in den untersuchten Szenarien immer noch bei 1,9 bis 2,7 %/a (gegenüber 1,7 % zwischen 2000 und 2015).

Interessanterweise ist bei den Deutschland-Szenarien kein eindeutiger Zusammenhang zwischen dem Klimaschutz-Ambitionsniveau und der Verbesserung der durchschnittlichen Endenergieproduktivität zu erkennen. Bei den Japan-Szenarien ist ein solcher Zusammenhang mit einer Ausnahme zu beobachten: Mit Ausnahme des Low-Nuclear Szenarios, das die geringste Minderung der energiebedingten CO₂-Emissionen vorsieht, jedoch die höchste Steigerung der Endenergieproduktivität beschreibt, ist mit wachsendem Ambitionsniveau auch der Rückgang der Endenergieproduktivität ausgeprägter.

Verhaltensänderungen

Neben Effizienzverbesserungen kann der Endenergieverbrauch auch durch eine Verringerung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen oder durch eine Verlagerung der Nachfrage von energieintensiven zu weniger energieintensiven Dienstleistungen gemindert werden. Die folgenden beiden Tabellen zeigen diejenigen Verhaltens- bzw. Lebensstiländerungen, die in mindestens einem der untersuchten Szenarien zu einer Minderung der Endenergienachfrage beitragen. Die Tabellen verdeutlichen, welche Änderungen in den jeweils untersuchten Szenarien bis zum Jahr 2050 (gegenüber einer bestimmten Referenzentwicklung) angenommen werden.

In Hinblick auf die deutschen Szenarien zeigt sich, dass – mit der Ausnahme des Szenarios THGND (UBA 2014) – diejenigen Szenarien mit höherem Klimaschutz-Ambitionsniveau tendenziell in stärkerem Maße Verhaltensänderungen unterstellen. Ein solcher Zusammenhang ist für die japanischen Szenarien nicht ersichtlich.

Die Tabellen verdeutlichen zudem, dass die untersuchten Szenarien ganz überwiegend Verhaltensänderungen im Personenverkehr unterstellen, um dort die Energienachfrage zu reduzieren. Beispielsweise wird im japanischen „100% RE“-Szenario (WWF 2017) davon ausgegangen, dass im Jahr 2050 10 % des sich im Referenzszenario ergebenden Personenluftverkehrs durch Videokonferenz-Technologie vermieden werden kann und dass „car sharing“ zu einer Minderung der Energienachfrage der Autos um 4 % führen wird. Im deutschen „KS 95“-Szenario (BMUB 2015) wird unter anderem angenommen, dass der durchschnittliche Besetzungsgrad von Autos zwischen 2010 und 2050 um 11 % ansteigt (auf kurzen und mittleren Strecken von

1,43 auf 1,59 Personen). Im Referenzszenario wird hingegen angenommen, dass dieser Wert auf dem Niveau von 2010 konstant bleibt.

Weitergehende Lebensstiländerungen, wie beispielsweise eine Verringerung der durchschnittlichen Wohnfläche oder eine (über den Autobesitz und die Fleischnachfrage hinausgehende) reduzierte Nachfrage nach Konsumgütern und Dienstleistungen wird hingegen in keinem der untersuchten Szenarien angenommen.

Tab. 4-2 Japan-Szenarien: Unterstellte, endenergiebedarfsreduzierende Verhaltens- bzw. Lebensstiländerungen (gegenüber einer Referenzentwicklung)

	Low-nuclear	AE[R]	Bridge	100% RE	1.5deg_NUCPO
Personenverkehr					
Wechsel zu Transportmitteln mit höherer Energieeffizienz		X			
Nutzung kleinerer und leichter Autos		X			
Verstärkte Nutzung von "car sharing"			X	X	
Energiesparendes Fahrverhalten			X	X	
Einführung eines generellen Tempolimits auf Autobahnen					
Höherer Besetzungsgrad der Autos					
Minderung der Flugverkehrsleistung durch mehr Videotelefonie			X	X	
Weitere Bereiche					
Minderung der Raumtemperaturen im Winter					
Verringerung des Pro-Kopf-Konsums von Fleisch ^b					

Tab. 4-3 Deutschland-Szenarien: Unterstellte, endenergiebedarfsreduzierende Verhaltens- bzw. Lebensstiländerungen (gegenüber einer Referenzentwicklung)

	ZS	KS 80	K17 M	KS 95	THGND
Personenverkehr					
Wechsel zu Transportmitteln mit höherer Energieeffizienz		(X) ^a	X	X	
Nutzung kleinerer und leichter Autos			X		
Verstärkte Nutzung von "car sharing"					
Energiesparendes Fahrverhalten					
Einführung eines generellen Tempolimits auf Autobahnen			X	X	
Höherer Besetzungsgrad der Autos				X	
Minderung der Flugverkehrsleistung durch mehr Videotelefonie					
Weitere Bereiche					
Minderung der Raumtemperaturen im Winter				X	
Verringerung des Pro-Kopf-Konsums von Fleisch ^b		X		X	X

^a Ein Transportmittelwechsel findet hier nur in sehr geringem Umfang statt.

^b Die Auswirkungen eines verminderten Fleischkonsums auf den Endenergiebedarf sind voraussichtlich sehr gering. Der Hauptgrund, weshalb in einigen Klimaschutzszenarien entsprechende Minderungen vorgesehen sind, ist die damit einhergehende Minderung der Methan- und Lachgasemissionen in der Landwirtschaft.

4.3.2 Elektrifizierung

Die Elektrifizierungsstrategie, d. h. die Strategie, in den Endenergiesektoren fossile Energieträger in zunehmendem Maße durch Strom bzw. durch aus Strom erzeugte Energieträger zu ersetzen, spielt in allen betrachteten Klimaschutzszenarien beider Länder eine bedeutende Rolle. So steigt in den japanischen Szenarien der Anteil der Summe von Strom und aus Strom erzeugten Energieträgern am gesamten Endenergieverbrauch von gegenwärtig (Jahr 2015) 25 % auf 33 bis 49 % im Jahr 2050 an. In den Deutschland-Szenarien wächst der entsprechende Anteil von 21 % im Jahr 2015 auf 29 bis 100 % bis Mitte des Jahrhunderts. Es zeigt sich also insbesondere bei den Deutschland-Szenarien eine große Spannweite bezüglich der zukünftigen Elektrifizierung, wobei sich hier ein klarer positiver Zusammenhang zwischen Klimaschutz-Ambitionsniveau und Ausmaß der Elektrifizierung zeigt. Dieser Zusammenhang ist bei den Japan-Szenarien nur in geringem Maße ausgeprägt.

Während zudem in Bezug auf die analysierten Deutschland-Szenarien ersichtlich ist, dass nur in den ambitionierteren Szenarien mit einer avisierten THG-Minderung von 95 % auch Wasserstoff und/oder synthetische Kraftstoffe in relevantem Maße zum Einsatz kommen, ist auch dieser Zusammenhang in den untersuchten Japan-Szenarien nicht ersichtlich. In diesen wird im „Bridge“-Szenario (mit „nur“ 82 %-Emissionsreduktion bis 2050 gegenüber 1990) Wasserstoff in relevantem Maße – insbesondere im Verkehrssektor – eingesetzt, während es im ambitioniertesten „1.5deg_NUCPO“ (mit „Netto-Null“-Emissionen im Jahr 2050) nur eine sehr untergeordnete Rolle im Endenergieverbrauch spielt. Im „1.5deg_NUCPO“-Szenario wird hingegen Effizienz, dem Einsatz von Biomasse sowie der Nutzung von CCS (im Industriesektor) eine besonders große Rolle bei der Minderung der Emissionen der endenergieverbrauchenden Sektoren zugewiesen.

Die folgenden beiden Tabellen zeigen für Japan und Deutschland die Anteile von Strom sowie von Wasserstoff bzw. synthetischen Kraftstoffen in den verschiedenen Endenergiesektoren für die Jahr 1990 und 2015 sowie für das Jahr 2050 nach den verschiedenen Szenarien. Es zeigt sich zum einen, dass es in beiden Ländern zwischen 1990 und 2015 – mit Ausnahme des Verkehrssektors – in allen Sektoren einen Trend hin zu höheren Strom-Anteilen gegeben hat. Dieser Trend war im GHD-Sektor besonders ausgeprägt. Mit einer Ausnahme wird in allen Sektoren und allen Szenarien (für die entsprechende Daten vorliegen) ein – teilweise deutlicher – weiterer Anstieg des Strom-Anteils bis 2050 beschrieben. Die Ausnahme stellt der Industriesektor in den japanischen Szenarien dar, dessen Strom-Anteil im Jahr 2050 in allen drei Szenarien, die hierzu Angaben machen, etwa auf gegenwärtigem Niveau verbleibt.

Wasserstoff bzw. synthetische Kraftstoffe spielen in denjenigen Szenarien, in denen sie in nennenswertem Ausmaß in den Endenergiesektoren zum Einsatz kommen, v. a. im Verkehrssektor eine bedeutende Rolle. Drei der analysierten Szenarien schreiben dieser indirekten Elektrifizierung allerdings auch in der Industrie eine gewisse Rolle zu: Zum einen – in relativ geringem Umfang – im japanischen Szenario AE[R] (Greenpeace 2011), zum anderen in zwei Deutschland-Szenarien in moderatem (K17 M, Nitsch 2017) bzw. starkem Umfang (THGND, UBA 2014). Nur im THGND-Szenario wird überdies angenommen, dass synthetische Kraftstoffe auch in den Haushalten sowie im GHD-Sektor zum Einsatz kommen.

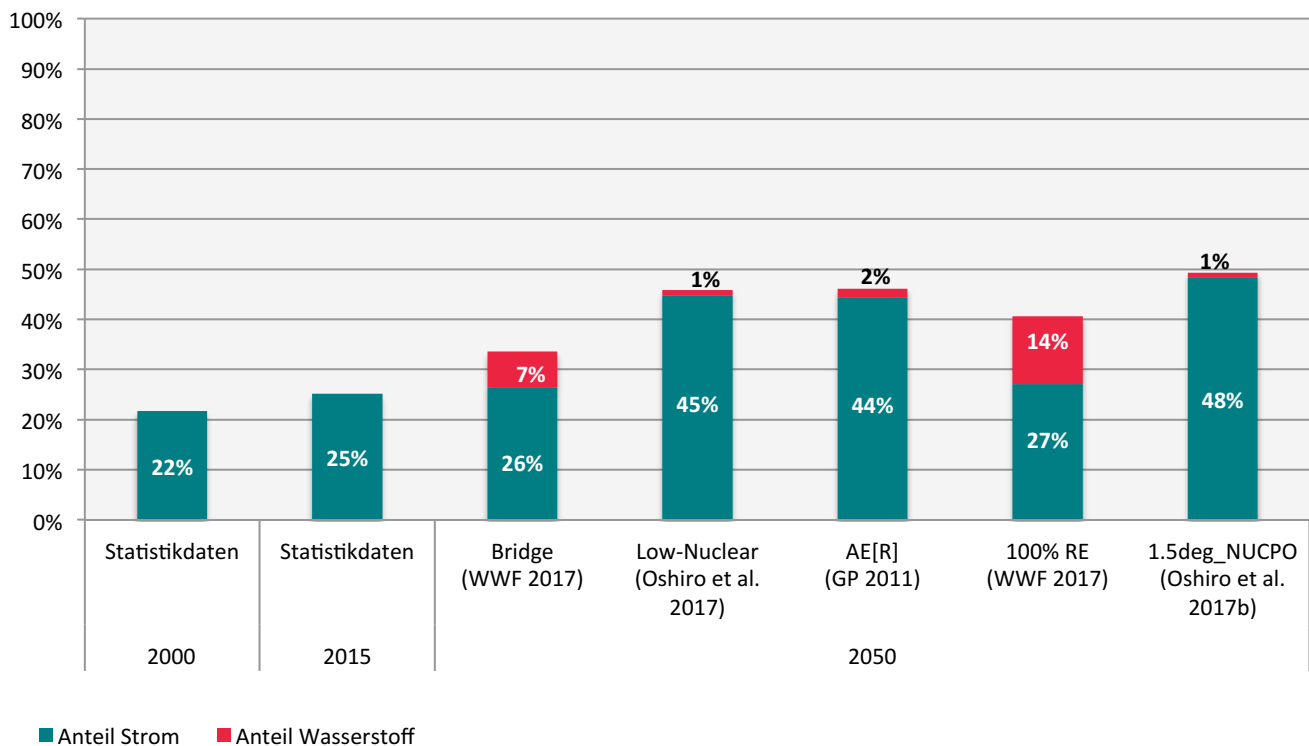


Abb. 4-20 Japanische Szenarien: Anteil Strom und Wasserstoff am Endenergieverbrauch

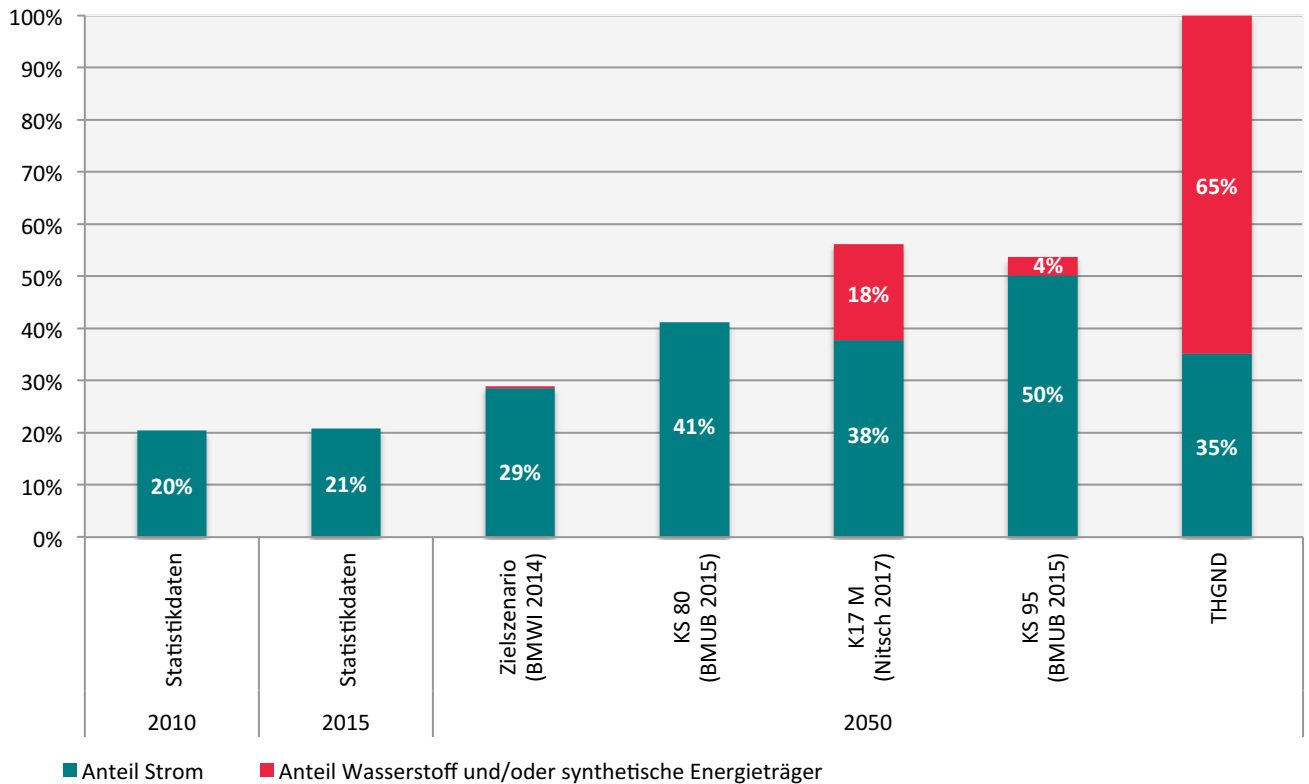


Abb. 4-21 Deutsche Szenarien: Anteil Strom und Wasserstoff und/oder synthetische Kraftstoffe am Endenergieverbrauch

Tab. 4-5 Anteile von Strom („direkte Elektrifizierung“) und Wasserstoff bzw. synthetischen Energieträgern („indirekte Elektrifizierung“) in den einzelnen Endenergiesektoren in den Japan-Szenarien

		Ist-Daten		Bridge	Low-Nuclear	AE[R]	100% RE	1.5deg_NUCPO
		1990	2015	2050				
Industrie	direkt	23 %	28 %	k. A.	26 %	31 %	k. A.	28 %
	indirekt	0 %	0 %	k. A.	0 %	3 %	k. A.	0 %
GHD	direkt	29 %	50 %	k. A.	79 %	k. A.	k. A.	100 %
	indirekt	0 %	0 %	k. A.	0 %	k. A.	k. A.	0 %
Haushalte	direkt	40 %	51 %	k. A.	90 %	k. A.	k. A.	91 %
	indirekt	0 %	0 %	k. A.	0 %	k. A.	k. A.	0 %
Verkehr	direkt	2 %	2 %	k. A.	28 %	49 %	k. A.	39 %
	indirekt	0 %	0 %	k. A.	9 %	3 %	k. A.	6 %

Tab. 4-6 Anteile von Strom („direkte Elektrifizierung“) und Wasserstoff bzw. synthetischen Energieträgern („indirekte Elektrifizierung“) in den einzelnen Endenergiesektoren in den Deutschland-Szenarien

		Ist-Daten		ZS	KS 80	K17 M	KS 95	THGND
		1990	2015	2050				
Industrie	direkt	25 %	32 %	36 %	37 %	42 %	44 %	47 %
	indirekt	0 %	0 %	0 %	0 %	11 %	0 %	53 %
GHD	direkt	24 %	38 %	51 %	63 %	65 %	66 %	53 %
	indirekt	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	47 %
Haushalte	direkt	18 %	20 %	26 %	36 %	30 %	42 %	70 %
	indirekt	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	30 %
Verkehr	direkt	2 %	2 %	12 %	25 %	25 %	37 %	15 %
	indirekt	0 %	0 %	1 %	0 %	40 %	25 %	85 %

4.3.3 Ausbau erneuerbarer Energien

Eine gegenüber heute weitaus stärkere Nutzung erneuerbarer Energien stellt in allen analysierten Szenarien eine zentrale Strategie zur Minderung der energiebedingten THG-Emissionen dar. Wie die folgenden Abbildungen zeigen, steigt der Anteil der erneuerbaren Energien im Primärenergieverbrauch in den japanischen Szenarien von 4 % im Jahr 2016 auf mindestens 41 % (Szenario „Bridge“, WWF 2017) und bis zu 100 % (Szenario „100% RE“, WWF 2017) bis Mitte des Jahrhunderts. Die Erneuerbaren-Anteile in den anderen drei japanischen Szenarien liegen im Jahr 2050 bei 57 bis 64 %.

In den Deutschland-Szenarien steigt der Anteil der erneuerbaren Energien im Primärenergieverbrauch von 13 % im Jahr 2017 auf 56 % bis 85 % im Jahr 2050 an. Diese Anteile beinhalten nicht den Nettoimport von Strom und von Wasserstoff bzw. synthetischen Kraftstoffen. Die Szenarien nehmen an, dass diese Energieträger im Ausland Mitte des Jahrhunderts überwiegend oder vollständig auf Grundlage erneuer-

erbarer Energien bereitgestellt werden. Das Szenario THGND (UBA 2014) ist dabei nicht aufgeführt, da hier keine präzise Annahme bezüglich der Menge importierter gegenüber inländischer Energie getroffen wird.

In Hinblick auf die analysierten Deutschland-Szenarien lässt sich ein klarer positiver Zusammenhang zwischen Klimaschutz-Ambitionsniveau und Anteil der erneuerbaren Energien am Primärenergieverbrauch feststellen. Dies ist in Hinblick auf die Japan-Szenarien nicht in ähnlich eindeutiger Weise festzustellen. So weist das Szenario „1.5deg_NUCPO“ (Oshiro et al. 2017b), das gemeinsam mit dem „100% RE“-Szenario die ambitioniertesten Emissionsreduktionen beschreibt, einen Erneuerbaren-Anteil von „nur“ 57 % aus – und liegt damit bezüglich dieses Wertes niedriger als die weniger ambitionierten Szenarien Low-Nuclear (Oshiro et al. 2017a) und AE[R] (Greenpeace 2011). Der geringe Erneuerbaren-Anteil im Szenario „1.5deg_NUCPO“ erklärt sich nicht zuletzt daraus, dass in diesem Szenario in beträchtlichem Umfang CCS-Technologie eingesetzt wird, inklusive der Realisierung „negativer“ Emissionen durch die Verbindung von Biomasse-Nutzung mit CCS, also dem Einsatz von „BECCS“-Technologie. Hierdurch können trotz der nicht unwesentlichen Nutzung fossiler Energieträger im Jahr 2050 dennoch die energiebedingten THG-Emissionen netto auf Null gebracht werden.

Die folgenden beiden Abbildungen stellen dar, welche erneuerbaren Energieträger in den Szenarien bis zum Jahr 2050 in der Primärenergieversorgung genutzt werden. In den meisten der analysierten Szenarien beider Länder liegen bis Mitte des Jahrhunderts die größten Potenziale bei der Biomasse, der Windenergie sowie der Solarenergie. Die genauen Beiträge einzelner erneuerbarer Energieträger weichen teilweise jedoch deutlich zwischen den Szenarien ab. Dies gilt insbesondere für die japanischen Szenarien und speziell in Hinblick auf die zukünftige Bedeutung der Biomasse sowie der Geothermie. So schwankt der Beitrag der Geothermie zur Primärenergieversorgung im Jahr 2050 in den japanischen Szenarien von rund 200 PJ (Szenario „1.5deg_NUCPO“, Oshiro et al. 2017b) bis fast 3.000 PJ (Szenario „AE[R]“, Greenpeace 2011) und die Beiträge der Biomasse von rund 110 PJ (Szenario „Low Nuclear“, Oshiro et al. 2017a) bis 2.200 PJ (Szenario „100% RE“, WWF 2017).

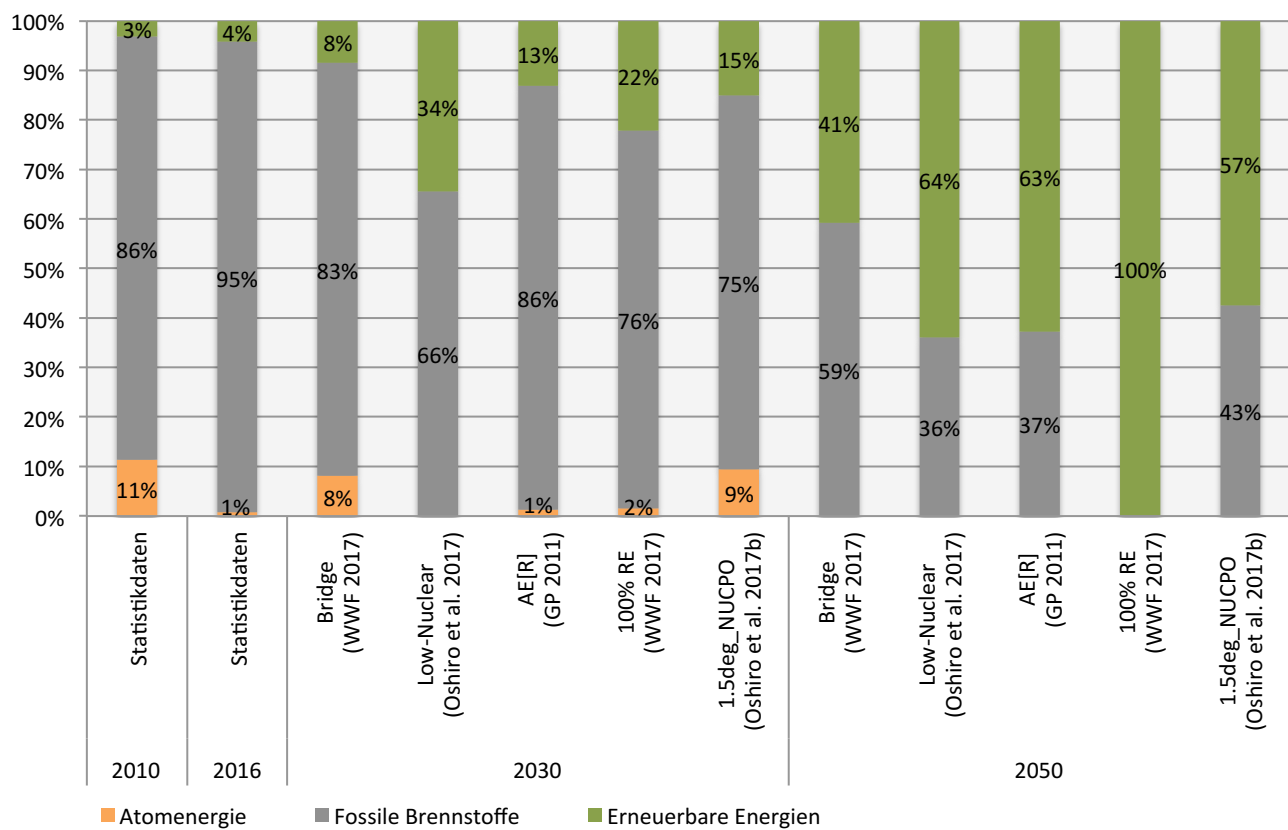


Abb. 4-22 Japanische Szenarien: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (in %)

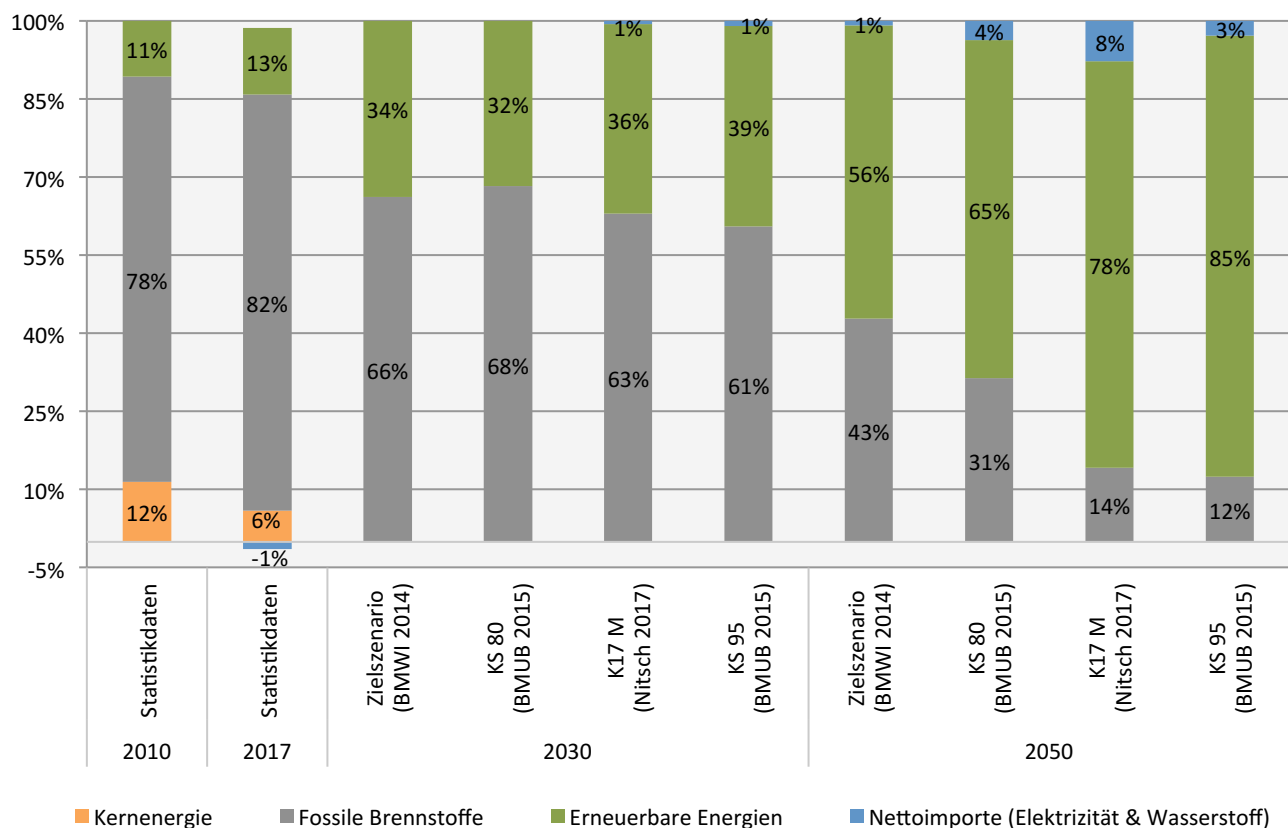


Abb. 4-23 Deutsche Szenarien: Primärenergieverbrauch nach Energieträgern (in %)

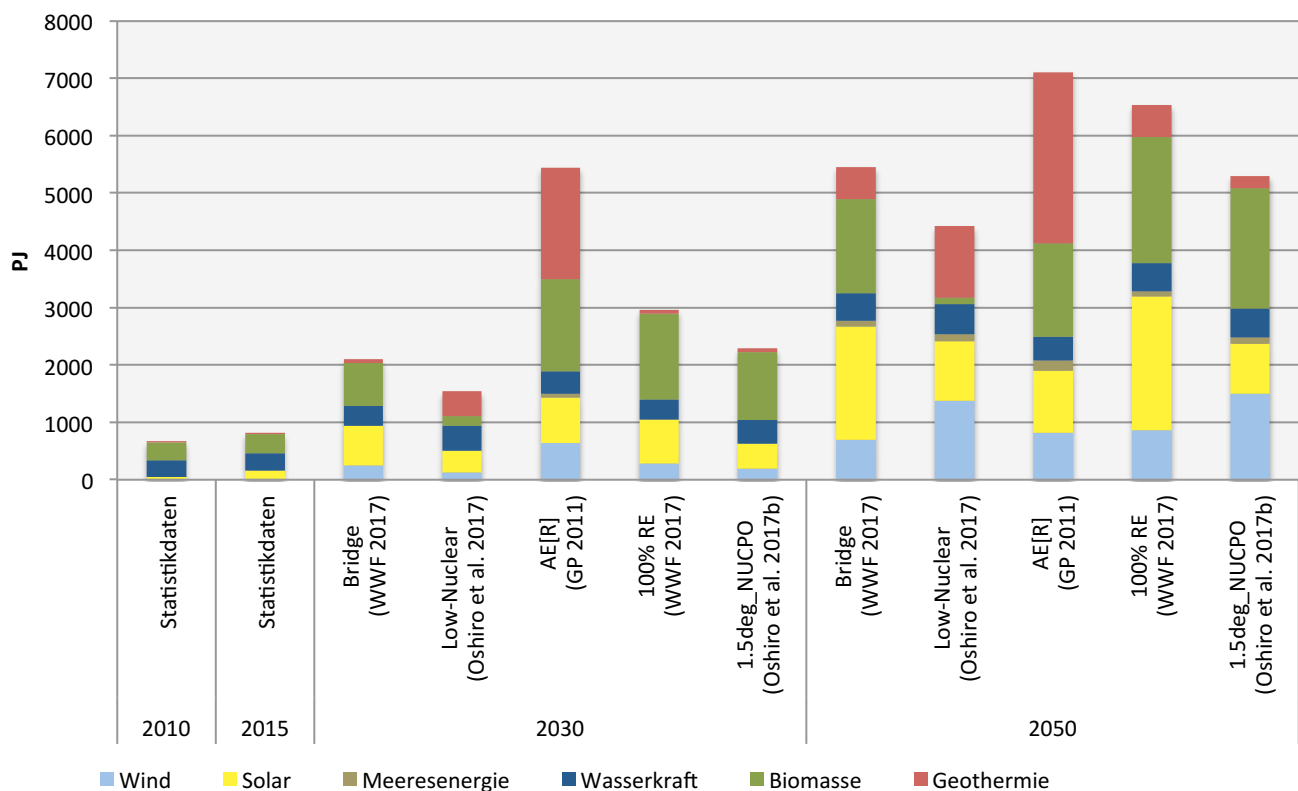


Abb. 4-24 Japanische Szenarien: Erneuerbare Energien im Primärenergieverbrauch (in PJ)

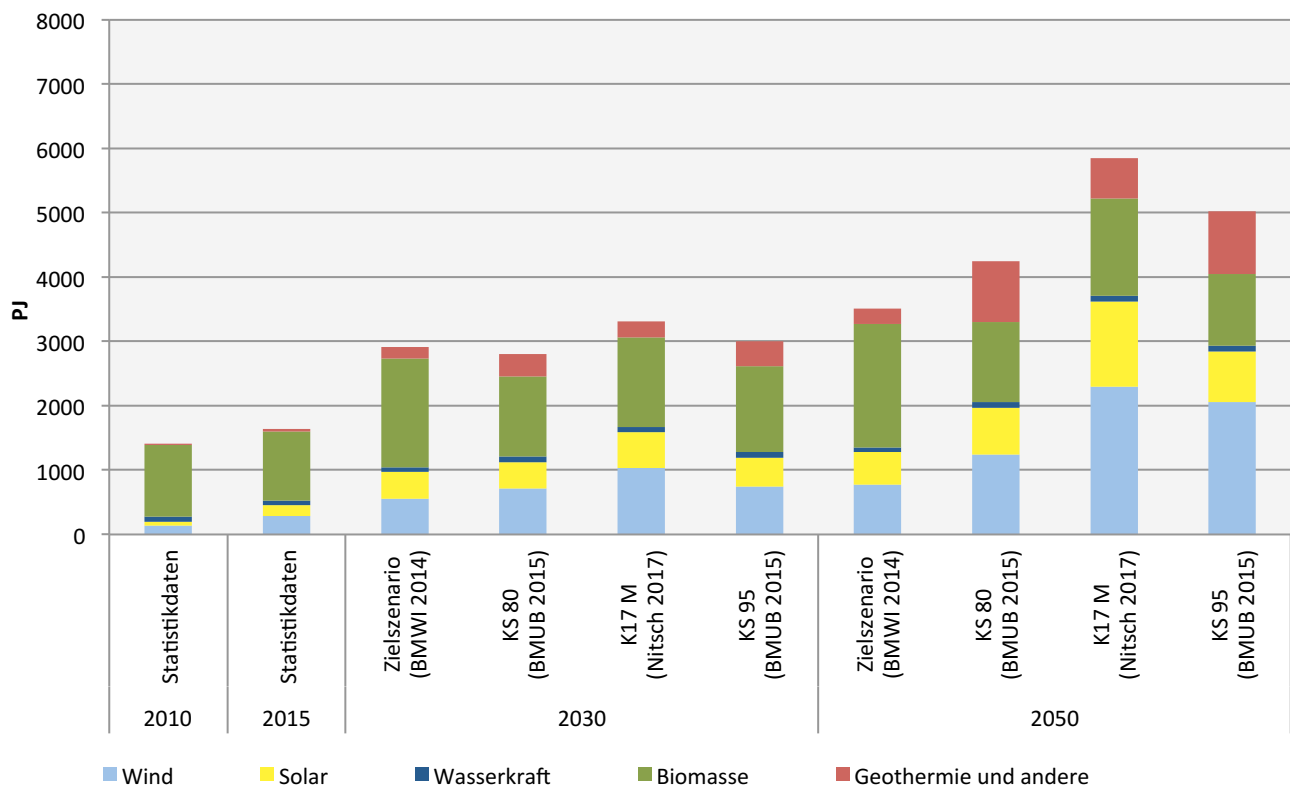


Abb. 4-25 Deutsche Szenarien: Erneuerbare Energien im Primärenergieverbrauch (in PJ)

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in den analysierten Japan- und Deutschland-Szenarien. In allen fünf Szenarien für Japan wird ein deutlicher Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis Mitte des Jahrhunderts beschrieben. In der Summe ist der Beitrag der Erneuerbaren in allen Japan-Szenarien ähnlich, und wächst von gegenwärtig (Jahr 2015) rund 170 TWh auf rund 800 bis 1.000 TWh im Jahr 2050. In der Zusammensetzung der erneuerbaren Energieträger gibt es zwischen den Szenarien allerdings deutliche Unterschiede, insbesondere was die zukünftige Bedeutung der Fotovoltaik, aber auch der Windenergie (für die in den Japan-Szenarien leider keine Unterscheidung zwischen Onshore- und Offshore dokumentiert wird), der Biomasse und der Geothermie angeht.

In den untersuchten Deutschland-Szenarien unterscheidet sich die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Jahr 2050 deutlich stärker als in den Japan-Szenarien. In Deutschland wird Mitte des Jahrhunderts ein Beitrag zwischen 370 („Zielszenario“, BMWi 2014 und rund 860 TWh (Szenario „K17 M“, Nitsch 2017) beschrieben. Im Gegensatz zu den Deutschland-Szenarien ist hier ein stärkerer positiver Zusammenhang zwischen Klimaschutz-Ambitionsniveau und erneuerbarer Stromerzeugung ersichtlich. Im Vergleich zu den Japan-Szenarien wird die Stromerzeugung in den Deutschland-Szenarien nach Mitte des Jahrhunderts sehr stark von der Onshore- und Offshore-Windenergie sowie der Fotovoltaik dominiert, wenn auch mit teils deutlich abweichenden absoluten und relativen Beiträgen dieser Energieträger.

Die Dominanz der Stromerzeugung aus Windenergie- und PV-Anlagen in den Deutschland-Szenarien führt dort auch zu sehr hohen Anteilen fluktuierender erneuerbarer Energien an der gesamten Stromerzeugung, selbst wenn die Nettostromimporte berücksichtigt und als nicht-fluktuierend betrachtet werden. Der Anteil der fluktuierenden erneuerbaren Energien, der 2015 in Japan bei 4 % und in Deutschland bereits bei 20 % lag, beträgt im Jahr 2050 in den Deutschland-Szenarien zwischen 63 % („Zielszenario“, BMWi 2014) und 91 % (Szenario „KS 95“, BMUB 2015), und in den Japan-Szenarien „nur“ bei 40 % (Szenario „AE[R]“, Greenpeace 2011) bis 73 % (Szenario „100% RE“, WWF 2017). Dieser Unterschied zwischen den Japan- und den Deutschland-Szenarien kann zum einen auf unterschiedliche Erneuerbare-Potenziale zurückgeführt werden, vermutlich aber zusätzlich auch auf die Tatsache, dass Deutschland im Gegensatz zu Japan in ein länderübergreifendes Stromnetz eingebunden ist, was die Integration hoher Anteile fluktuierender erneuerbarer Energien erleichtert.

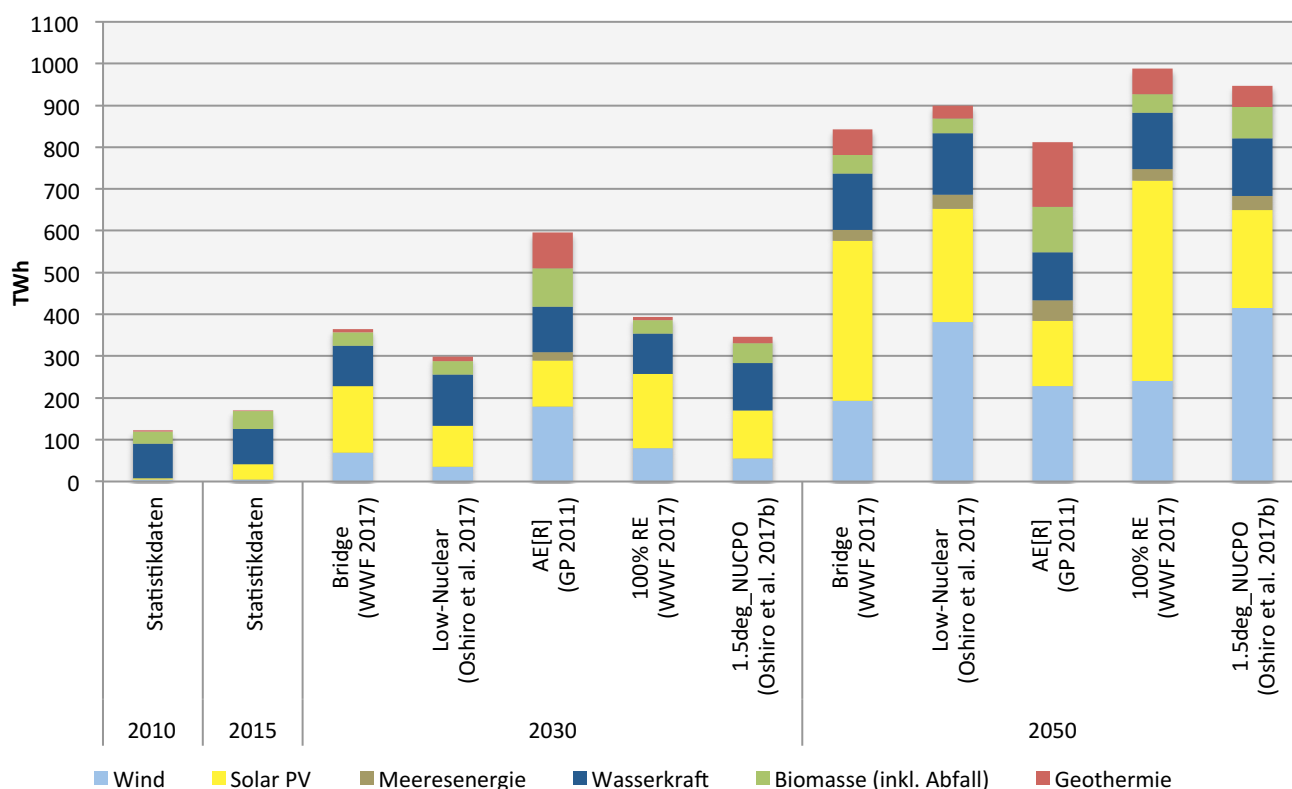


Abb. 4-26 Japanische Szenarien: Erneuerbare Energien in der Stromerzeugung (in TWh)

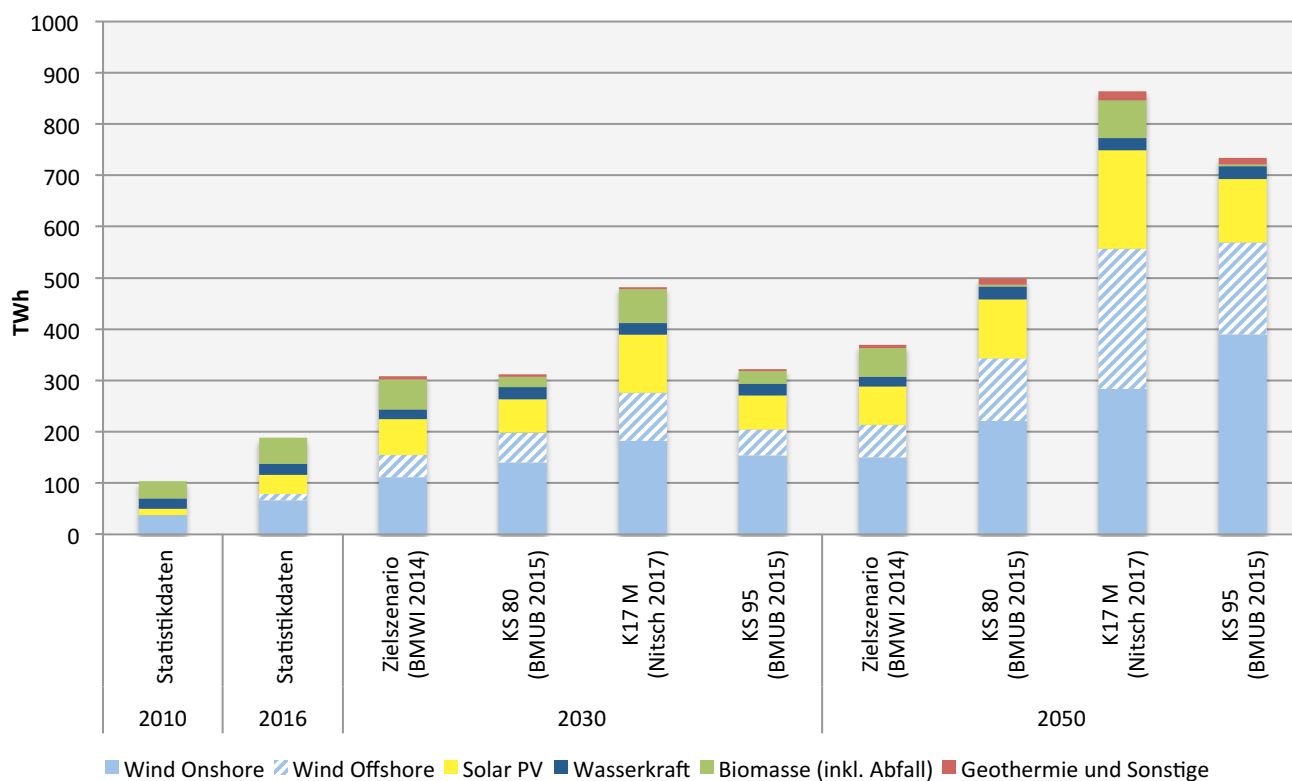


Abb. 4-27 Deutsche Szenarien: Erneuerbare Energien in der Stromerzeugung (in TWh)

4.3.4 Atomenergie

In allen betrachteten Szenarien wird die Atomenergie als mögliche Klimaschutzoption im Jahr 2050 nicht mehr genutzt (s. Abbildung XY). In den Deutschland-Szenarien findet ein Ausstieg analog zur gesetzlichen Regelung Ende 2022 statt, während in den meisten der analysierten Japan-Szenarien ein vollständiger Ausstieg erst zwischen 2030 und 2050 unterstellt wird. Ein Neubau von Atomkraftwerken wird auch in den japanischen Szenarien nicht angenommen. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass es im Gegensatz zu Deutschland in Japan keinen ähnlichen gesellschaftlichen Konsens für einen Ausstieg aus der Atomenergienutzung gibt. Folglich existieren auch verschiedene Szenariostudien, die einen weiteren Betrieb der meisten bestehenden (und derzeit vielfach nicht in Betrieb befindlichen) Atomkraftwerke und teilweise auch einen Neubau entsprechender Kraftwerke vorsehen. Diese Szenarien wurden im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch nicht analysiert, hauptsächlich weil die meisten dieser – in einigen Fällen vom japanischen Wirtschaftsministerium in Auftrag gegebenen – Szenarien nur eine mittelfristige Perspektive beschreiben und nicht bis Mitte des Jahrhunderts reichen.

4.3.5 Import CO₂-freier bzw. -neutraler Energieträger

Eine weitere Strategie zur Verringerung der energiebedingten THG-Emissionen besteht in dem Import von solchen Energieträgern, die zumindest während ihrer Nutzung CO₂ frei bzw. -neutral sind.⁸ Hierzu zählen Biomasse, Strom, Wasserstoff und synthetische Energieträger. Wie die folgende Tabelle zeigt, nehmen alle analysierten Deutschland-Szenarien an, dass Mitte des Jahrhunderts CO₂-freie bzw. -neutrale Energieträger importiert werden, allerdings in unterschiedlicher Art und in unterschiedlichem Umfang. In allen Deutschland-Szenarien kommt es Mitte des Jahrhunderts zu einem Nettostromimport. Zwei weitere Szenarien (Szenario „KS 95“, BMUB 2015 sowie Szenario „THGND“, UBA 2014) sehen zudem den Import von Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen vor. Eines der Szenarien („Zielszenario“, BMWi 2014) nimmt zudem an, dass Biomasse in einem Umfang von etwas über 200 PJ importiert wird. Insgesamt werden im Jahr 2050 in vier der fünf Deutschland-Szenarien CO₂-freie bzw. -neutrale Energieträger mit einem Energiegehalt von 172 bis 583 PJ importiert. In dem Szenario „THGND“ (UBA 2014) hingegen beträgt dieser Wert mindestens 4.000 und bis zu über 8.000 PJ (vgl. nachfolgende Tabelle).

Der deutlich höhere Importbedarf des THGND-Szenarios gegenüber den anderen Szenarien hat mehrere Gründe: Zum einen ist dieses Szenario am ambitioniertesten, was die Minderung der energiebedingten THG-Emissionen betrifft (-100 %). Zum anderen verzichtet es – im Gegensatz zum Szenario „THGND“ – auf den Einsatz der CCS-Technologie im Industriebereich, wodurch im Industriesektor zur vollständigen Vermeidung von THG-Emissionen zusätzliche bedeutende Mengen an CO₂-freier bzw. -neutraler Energie benötigt werden. Zusätzlich werden in diesem Szenario auch die Energiemengen aufgeführt, die in Zukunft für die stoffliche Nutzung im Indust-

⁸ Um tatsächlich einen bedeutenden Nutzen für den globalen Klimaschutz zu entfalten, müssen die importierten Energieträger natürlich auch in Bezug auf ihre Erzeugungs- bzw. Umwandlungsphase (nahezu) CO₂-frei bzw. -neutral bereitgestellt werden. Dass dies nicht zuletzt in Hinblick auf die Biomasse eine große Herausforderung darstellt bzw. deren nachhaltiges Potenzial einschränkt, ist hinlänglich bekannt und soll an dieser Stelle nicht im Detail diskutiert werden.

riesektor unterstellt werden. Und schließlich nimmt das THGND-Szenario für die Endenergiesektoren vereinfacht an, dass neben Strom in Zukunft lediglich synthetische Kraftstoffe zum Einsatz kommen werden, nicht jedoch Wasserstoff. Da die Erzeugung synthetischer Kraftstoffe mit größeren Energieverlusten verbunden ist als (nur) die Erzeugung von Wasserstoff, ist mit dieser Annahme ein weiterer Anstieg des Primärenergiebedarfs verbunden.

Interessanterweise wird hingegen in keinem der untersuchten Japan-Szenarien ein Import CO₂-freier bzw. -neutraler Energieträger angenommen. Es wird stattdessen unterstellt, dass der benötigte Strom und die benötigte Biomasse vollständig über die inländischen Potenziale gedeckt werden können und dass zudem der in den Szenarien benötigte Wasserstoff aus inländischer Stromerzeugung generiert werden kann.

Tab. 4-7 Nettoimport von CO₂-freien bzw. CO₂-neutralen Energieträgern in den Deutschland-Szenarien (in PJ)

	Statistik	ZS	KS 80	KS 95	K17 M	ZS	KS 80	KS 95	K17 M	THGND
	2015	2030				2050				
Biomasse	-22	0	0	0	0	215	0	0	0	0
Strom	-186	-25	0	77	61	57	238	29	583	4.000 bis 8.200 ^a
Wasserstoff & synthetische Kraftstoffe	0	0	0	0	0	0	0	143	0	
GESAMT	-208	-25	0	77	61	272	238	172	583	4.000 bis 8.200
Anteil am Endenergieverbrauch	-2 %	0 %	0 %	1 %	1 %	5 %	5 %	4 %	11 %	Ca. 80 bis 170 %

^a Im THGND-Szenario ist nicht genau festgelegt, wie viel des synthetischen Kraftstoffs, für deren inländische Erzeugung das inländische Potenzial erneuerbarer Energien als unzureichend eingeschätzt wird, aus dem Ausland importiert wird und wie viel davon im Inland mit importiertem Strom erzeugt wird. Die niedrigere Zahl in dieser Tabelle geht davon aus, dass nur synthetische Kraftstoffe importiert werden (es würde zu Umwandlungsverlusten im Ausland kommen), während die höhere Zahl davon ausgeht, dass nur Strom importiert und in Deutschland in synthetische Kraftstoffe umgewandelt wird.

4.3.6 Einsatz von CCS bzw. BECCS

Der Einsatz von Technologien zur Abscheidung, zum Transport und zur Speicherung von CO₂ (Carbon Capture and Storage, CCS) ist eine weitere Strategie zur Minderung der CO₂-Emissionen. In den meisten der hier analysierten Szenarien wird der Einsatz dieser Technologie jedoch nicht angenommen. Lediglich in zwei Japan-Szenarien („Low-Nuclear“, Oshiro et al. 2017a und „1.5deg_NUCPO“, Oshiro et al. 2017b) sowie in einem Deutschland-Szenario („KS 95“, BMUB 2015) kommt CCS bis Mitte des Jahrhunderts zum Einsatz. In allen diesen drei Szenarien werden im Jahr 2050 energie- und prozessbedingte CO₂-Emissionen aus der Industrie abgeschieden und gespeichert, und zwar in einem Umfang von 40 bis 70 Mt pro Jahr.⁹ In den beiden

⁹ Zum Vergleich: Derzeit belaufen sich die gesamten energie- und prozessbedingten Emissionen des Industriesektors in Deutschland auf rund 125 Mt pro Jahr.

Japan-Szenarien wird zusätzlich angenommen, dass CCS auch in fossilen Kraftwerken (Szenario „Low-Nuclear“, Oshiro et al. 2017a) bzw. in fossilen und v. a. Biomasse-Kraftwerken (Szenario „1.5deg_NUCPO“, Oshiro et al. 2017b) zum Einsatz kommt, um die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung zu mindern.

Im Japan-Szenario „1.5deg_NUCPO“ (Oshiro et al. 2017b) sowie im Deutschland-Szenario „KS 95“ (BMUB 2015) werden durch die Verwendung von Biomasse im Kraftwerkssektor bzw. in der Industrie in Kombination mit CCS auch „negative“ CO₂-Emissionen realisiert (sog. „bio-energy carbon capture and storage“, BECCS). Diese negativen Emissionen leisten in beiden Szenarien einen wichtigen Part, um die sehr ambitionierten THG-Emissionsreduktionen in diesen beiden Szenarien zu realisieren.

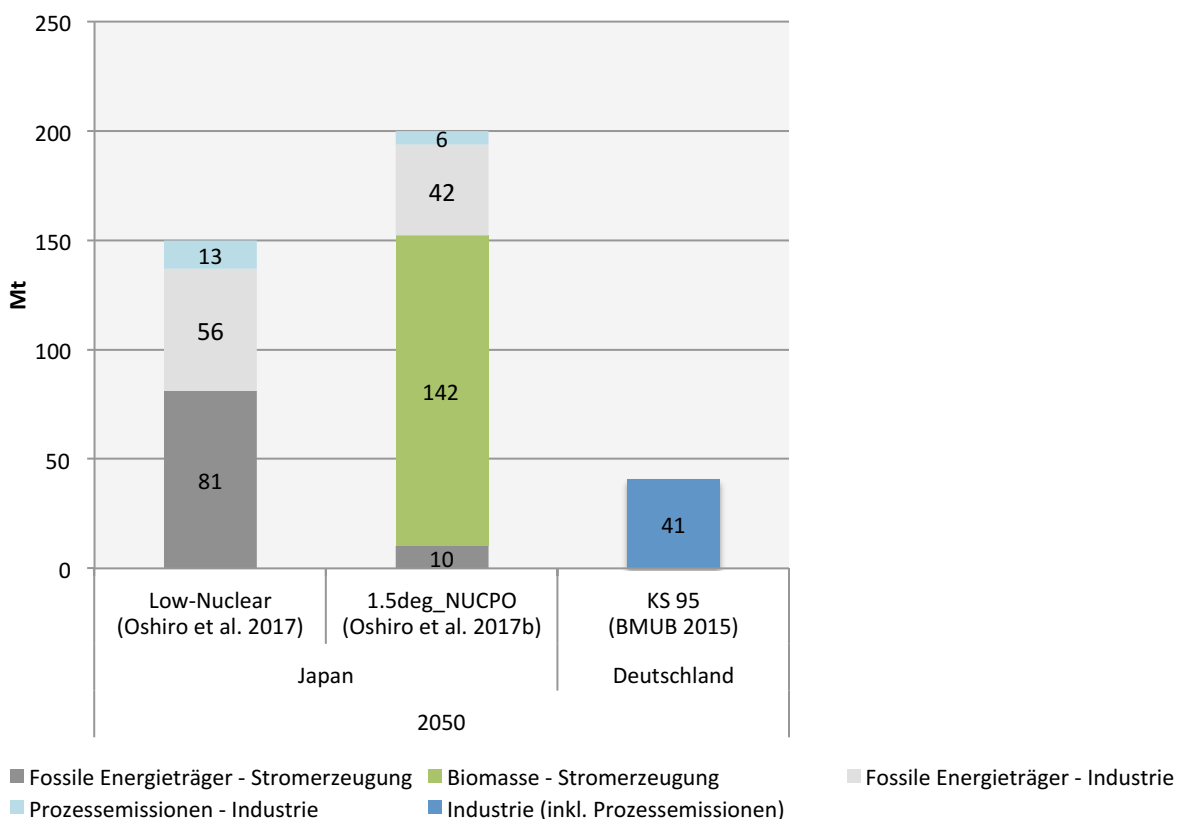


Abb. 4-28 Japanische und deutsche Szenarien: Abgeschiedenes CO₂ (in Mt/a)

Es ist anzumerken, dass die insgesamt in den beiden Japan-Szenarien Mitte des Jahrhunderts vorgesehene Menge an abgeschiedenem und zu speicherndem CO₂ mit 150 Mt pro Jahr („Low-Nuclear“-Szenario) bzw. 200 Mt pro Jahr („1.5deg_NUCPO“-Szenario) deutlich höher liegt als das CO₂-Speicherpotenzial nach vorliegenden Potenzialstudien. Das Speicherpotenzial an Land wird in Japan grundsätzlich als niedrig angesehen. Größeres Potenzial wird in „offshore“-Aquiferen vor den Küsten des Landes gesehen. Eine Meta-Studie des IEA GHG Programme (2009) beschreibt ein maximales langfristiges CO₂-Sequestrierungspotenzial von jährlich 35 bis 50 Mt, was maximal einem Drittel bzw. einem Viertel der langfristig angenommenen Mengen in den beiden erwähnten Japan-Szenarien entspricht. Zudem merkt die Studie an, dass das CO₂-Speicherpotenzial in Japan wahrscheinlich eher am unteren Rande der ge-

schätzten Spannweiten liegen wird, „given the concerns regarding the implementation of CO₂ storage in tectonically active areas“. Vor diesem Hintergrund sind die Annahmen zu dem Umfang der CCS-Nutzung in den Szenarien „Low-Nuclear“ und „1.5deg_NUCPO“ als sehr optimistisch bzw. unsicher anzusehen.

4.4 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Das vorangegangene Kapitel 3 hat bereits in Form eines Literaturüberblicks deutlich gemacht, dass sowohl für Deutschland als auch für Japan in den vergangenen Jahren eine große Anzahl unterschiedlicher Klimaschutzszenarien veröffentlicht wurden. Diese Szenarien unterscheiden sich unter anderem in Hinblick auf den untersuchten Systemausschnitt (z. B. Betrachtung nur des Stromsystems, des gesamten Energiesystems, oder aber aller relevanten THG-Emissionsquellen), die zugrunde liegende Methodik, den Betrachtungshorizont (z. B. bis 2030 oder bis 2050) sowie den beschriebenen Umfang der Emissionsreduktion. Auch die Transparenz der den Szenarien zugrundeliegenden Studien in Bezug auf die Darstellung der Methodik, der zentralen Annahmen sowie der wesentlichen Ergebnisse unterscheiden sich z. T. deutlich voneinander.

Auf Grundlage dieser Literatur wurden in diesem Kapitel jeweils fünf Szenarien für Japan und Deutschland analysiert und verglichen, die alle jeweils eine Entwicklung des gesamten Energiesystems bis mindestens zum Jahr 2050 beschreiben, sich in Bezug auf wesentliche Klimaschutzstrategien sowie Geschwindigkeit und Umfang der THG-Emissionsreduktion bis Mitte des Jahrhunderts jedoch unterscheiden. Diese Herangehensweise ermöglichte es zum einen, Gemeinsamkeiten sowie „typische“ Unterschiede zwischen vorliegenden Japan- und Deutschland-Szenarien zu identifizieren und gleichzeitig zu untersuchen, inwiefern sich Szenarien mit mittlerem Klimaschutz-Ambitionsniveau von Szenarien mit (sehr) hohem Ambitionsniveau unterscheiden.

Es zeigte sich, dass bestimmte Klimaschutzstrategien in allen analysierten Szenarien eine zentrale Rolle spielen. Hierzu zählt insbesondere eine deutliche Erhöhung der Endenergieproduktivität gegenüber der Vergangenheit. Diese Erhöhung wird in den Szenarien überwiegend über beschleunigte Energieeffizienzverbesserungen erreicht, in den meisten der Szenarien aber auch durch Verhaltensänderungen, insbesondere in Hinblick auf das Mobilitätsverhalten. Auch ein (weiterer) dynamischer Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien wird in den Szenarien für beide Länder als nötig und möglich erachtet. Ebenfalls wird in allen Szenarien ein deutlicher Trend hin zu einer stärkeren Elektrifizierung der verschiedenen Endenergiesektoren unterstellt. Dies ermöglicht dort den Ersatz fossiler Brennstoffe durch CO₂-frei bzw. CO₂-arm erzeugten Strom bzw. aus diesem Strom gewonnene Energieträger.

Die Nutzung von Atomstrom wird hingegen in keinem der betrachteten Szenarien als langfristige Emissionsreduktionsstrategie verfolgt. Dieser Umstand liegt für die Deutschland-Szenarien in Anbetracht des breiten politischen Konsens sowie der aktuellen Rechtslage nahe. In Bezug auf Japan, wo es keinen vergleichbaren politischen Konsens zur Zukunft der Atomenergie gibt, mag dieser Umstand überraschen. So gibt es auch vorliegende Energieszenarien für Japan, die ein zügiges Hochfahren und

langes Weiterlaufen der derzeitigen AKW-Kapazitäten vorsehen und teilweise auch einen Neubau von Atomkraftwerken annehmen, diese Szenarien haben jedoch nicht die in dieser Studie gewählten Voraussetzungen erfüllt, insbesondere ist der Betrachtungshorizont der Szenarien i. d. R. auf 2030 oder 2040 begrenzt.

Deutliche Unterschiede zwischen den in der vorliegenden Studie analysierten Szenarien gibt es in Hinblick auf die Frage, ob bzw. in welcher Form und in welchem Maße Mitte des Jahrhunderts CO₂-freie bzw. -neutrale Energieträger importiert werden. Alle untersuchten Deutschland-Szenarien unterstellen, dass im Jahr 2050 Strom (netto) importiert wird, wenn auch in unterschiedlichem Umfang. In einzelnen Deutschland-Szenarien werden zudem Biomasse oder synthetische Energieträger importiert. Die größten Mengen CO₂-freier bzw. neutraler Energieträger werden in den sehr ambitionierten Klimaschutzszenarien ohne Nutzung von industriellem CCS importiert. In den untersuchten Japan-Szenarien wird im Gegensatz zu den Deutschland-Szenarien keinerlei Import von Strom, Biomasse oder synthetischen Energieträgern angenommen. Dieser Unterschied zwischen den Japan- und Deutschland-Szenarien ist – auch vor dem Hintergrund, dass die Potenziale erneuerbarer Energien in beiden Ländern ähnlich sind – bemerkenswert.¹⁰

Ein weiterer wichtiger Unterschied zwischen den analysierten Szenarien ist die Nutzung bzw. Nicht-Nutzung von CCS für CO₂-Emissionen aus Kraftwerken und/oder für energie- und prozessbedingte CO₂-Emissionen aus Industrieanlagen. CCS wird in zwei der betrachteten Japan-Szenarien sowohl für Kraftwerksemissionen als auch für Industrieemissionen eingesetzt. Hingegen wird der Einsatz von CCS nur in einem Deutschland-Szenario unterstellt, und hier nur für Emissionen aus Industrieanlagen.¹¹ Die Menge der Mitte des Jahrhunderts jährlich abgeschiedenen und gespeicherten CO₂-Emissionen sind dabei in den beiden Japan-Szenarien mit rund 150 Mt bzw. 200 Mt deutlich höher als in dem Deutschland-Szenario (rund 40 Mt). Dies liegt im Wesentlichen an den in den Japan-Szenarien zusätzlich abgeschiedenen CO₂-Mengen aus der Stromerzeugung. Nicht zuletzt angesichts der nach derzeitigem Kenntnisstand v. a. auf einzelne Offshore-Speicher begrenzten CO₂-Speicherpotenziale in Japan sind diese Annahmen zum Einsatz von CCS in den Japan-Szenarien als optimistisch einzustufen.

Die Unterschiede zwischen den analysierten Szenarien spiegeln unterschiedliche Auffassungen bezüglich einer wünschenswerten bzw. realistischen zukünftigen Entwicklung der Energiesysteme in Deutschland und Japan wieder. Diese Unterschiede sind tendenziell ausgeprägter in den sehr ambitionierten Klimaschutzszenarien mit Minderungen der energiebedingten THG-Emissionen bis 2050 von rund 90 % oder mehr (gegenüber 1990). Konkret gibt es unterschiedliche Auffassungen zur zukünftigen Rolle von CCS, dem Ausmaß und der Art der zukünftigen Importe CO₂-freier bzw. -neutraler Energieträger sowie dem optimalen Mix zwischen direkter und indi-

¹⁰ Eine mögliche Erklärung für diesen Unterschied könnte sein, dass in Japan allgemein eine größere Skepsis bezüglich der Abhängigkeit von Energieimporten vorzuherrschen scheint als in Deutschland. Eine alternative oder ergänzende Erklärung könnte sein, dass die meisten der untersuchten Japan-Szenarien im Gegensatz zu den untersuchten Deutschland-Szenarien den stofflichen Bedarf an (CO₂-freien) Energieträgern nicht berücksichtigen.

¹¹ In dem sehr ambitionierten Japan-Szenario, das CCS nutzt, werden über die Biomasse-Verstromung in CCS-Anlagen (BECCS) negative Emissionen in bedeutendem Maße realisiert. In deutlich geringerem Umfang werden auch in dem Deutschland-Szenario mit CCS negative Emissionen erzielt – über den Einsatz von Biomasse als Brennstoff in der Industrie.

rekter Elektrifizierung. Zudem gibt es unterschiedliche Auffassungen, in welchem Maße zukünftige Verhaltensänderungen zur Reduzierung des Endenergiebedarfs und der energiebedingten THG-Emissionen beitragen können. Insbesondere in Hinblick auf diese unterschiedlich eingeschätzten Klimaschutzstrategien liegt zukünftiger Forschungsbedarf vor, um deren jeweilige technische, ökonomische, soziale und/oder ökologische Machbarkeit und Vorteilhaftigkeit in einem zukünftigen dekarbonisierten Energiesystem besser verstehen zu können.

5 Japanisch-deutscher Forschungsaustausch

5.1 Präsentation der Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden bisher im Rahmen des japanisch-deutschen Forschungsaustauschs mit dem Partnerprojekt, auf zwei zentralen japanischen Veranstaltungen sowie in einem im Review-Prozess befindlichen Artikel präsentiert und diskutiert. Auch nach dem formalen Abschluss des Projektes ist geplant, die Endergebnisse sowohl deutschen als auch japanischen Akteuren aus Politik, Wissenschaft und interessierter Öffentlichkeit auf entsprechenden Veranstaltungen zu präsentieren.

5.1.1 Präsentation beim „International Forum for Sustainable Asia and the Pacific 2017“ (ISAP 2017)

Prof. Dr. Stefan Lechtenböhmer hat auf Einladung des Institute for Global Environmental Strategies (IGES) am „International Forum for Sustainable Asia and the Pacific 2017“ zum Thema „Transformational Changes: Putting Sustainability at the Heart of Action“ vom 25. bis 26. Juli 2017 in Yokohama, Japan teilgenommen.

Das International Forum ist ein jährlich stattfindendes Forum, auf welchem diverse Themen im Zusammenhang mit einer nachhaltigen Entwicklung in Asien und dem pazifischen Raum mit Vertreterinnen und Vertretern und Stakeholdern verschiedener Regierungen, internationaler Organisationen, Unternehmen und NGOs diskutiert werden.



(Quelle: https://www.iges.or.jp/isap/2017/en/session/tt_1.html)

Abb. 5-1 Eindrücke vom „International Forum for Sustainable Asia and the Pacific 2017“ (ISAP 2017), Japan

Im Rahmen des Thematic Track 1 zu "Long-term Decarbonisation Strategies: Pathway to a Smooth Transformation" hat Stefan Lechtenböhmer einen Vortrag zum Thema „Long-term Decarbonisation Strategies: How Can We Manage Transformation Smoothly?“ gehalten.

ISAP session summary

Long-term Decarbonisation Strategies: Pathway to a Smooth Transformation

“The Paris Agreement’s long-term target of keeping global temperature rise well below 2 degrees C from pre-industrial levels necessitates a drawdown of carbon emissions and other greenhouse gases in the second half of this century. Such decarbonisation inevitably entails a rapid and dramatic shift from today’s energy-intensive economic growth model, which implies a reallocation of resources and investments between competing industrial sectors and political constituencies. Effective strategies will need to be developed to ensure the transformation of economies is successfully managed and achievable by mid-century.

This event provides an opportunity to learn from the experiences of other countries on decarbonisation with a view towards identifying principal drivers of national low-carbon strategies. Discussions will focus on how to address challenges ahead of undertaking concrete actions for their implementation. The session will also consider the potential implication of those success stories abroad for the adoption of a long-term, low-carbon strategy in Japan.

Two case studies will also be presented: the first, from Germany, will illustrate a local initiative to decarbonise the Ruhr industrial district, followed by an example from France describing implementation challenges associated with the country’s low-carbon strategy.”

(Quelle: https://www.iges.or.jp/isap/2017/en/session/tt_1.html)

5.1.2 Präsentation und Diskussion der Studienergebnisse beim 23rd AIM International Workshop

Auf Einladung der japanischen Partner vom National Institute for Environmental Studies (NIES) hat Sascha Samadi vom 27. bis 28. November 2017 am 23rd AIM International Workshop in Tsukuba, Japan teilgenommen.

Auf dem jährlich stattfindenden internationalen Workshop stehen einerseits Anwendungen und Weiterentwicklung des Asia-Pacific Integrated Model (AIM) im Fokus, darüberhinausgehend werden aber ebenfalls weiterreichende Fragestellungen im Zusammenhang mit der Reduzierung von Treibhausgasemissionen sowie Minderungs- und Anpassungsstrategien diskutiert. In diesem Rahmen wurden die Projektergebnisse in der Session „Mitigation in developed countries“ in einem Vortrag mit dem

Titel „Meta-analysis and comparison of Japanese and German mid-century deep decarbonization scenarios“ präsentiert.



Abb. 5-2 Eindrücke 23rd AIM International Workshop 2017, Japan

5.1.3 Peer Review-Artikel in Journal „Carbon Management“ eingereicht

Im Oktober 2017 wurde auf Einladung von Seiten der japanischen Partner (IGES/ NIES) ein Beitrag für die Special Issue der Fachzeitschrift „Carbon Management“ zum Thema „1,5 Grad-Ziel“ eingereicht. Der Artikel „Long-term low greenhouse gas emission development strategies for achieving the 1.5 °C target – Insights from a comparison of German bottom-up energy scenarios“ basiert auf den im Rahmen dieses Projektes erfolgten Szenarioanalysen zu den langfristigen Dekarbonisierungsstrategien für Deutschland. Der Artikel befindet sich zur Zeit noch im Reviewprozess.

Zusammenfassung Artikel

Long-term low greenhouse gas emission development strategies for achieving the 1.5 °C target – Insights from a comparison of German bottom-up energy scenarios

The Paris Agreement calls on all nations to pursue efforts to contribute to limiting the global temperature increase to 1.5 °C above pre-industrial levels. However, due to limited global, regional and country-specific analysis of highly ambitious GHG mitigation pathways, there is currently a lack of knowledge about the transformational changes needed in the coming decades to reach this target. Through a meta-analysis of mitigation scenarios for Germany, this article aims to contribute to an improved understanding of the changes needed in the energy system of an industrialised country. We suggest to differentiate between six key long-term energy system decarbonisation strategies, and we analyse how these strategies are pursued until 2050 in selected technologically detailed energy scenarios for Germany. The findings show, that certain strategies, including the widespread use of electricity-derived synthetic fuels in end-use sectors as well as behavioural changes are typically applied to a greater extent in mitigation scenarios aiming at high GHG emission reductions compared to more moderate mitigation scenarios. Our analysis also highlights that the pace of historic changes observed in Germany between 2000 and 2015 is clearly insufficient to adequately contribute to not only the 1.5 °C, but also the 2 °C long-term global target.

(Quelle: Samadi et al. 2017)

5.2 Forschungstreffen mit dem japanischen Partnerprojekt

Im Rahmen des Projektes gab es einen intensiven Austausch mit verschiedenen japanischen Wissenschaftlern und Institutionen. Zum einen wurde ein regelmäßiger Dialog mit dem japanischen Partnerprojekt angestrebt und zum anderen wurde aktiv Kontakt zu weiteren japanischen Institutionen gesucht, die sich mit der langfristigen Dekarbonisierung in Japan beschäftigen.

März 2017

Gemeinsamer Workshop mit den japanischen Kollegen vom National Institute for Environmental Studies (NIES) und vom Institute for Global Environmental Strategies (IGES) am 8. März 2017 in Wuppertal. Inhaltlich wurden in diesem Workshop die laufenden Projekte und potentielle Themen für den Ausbau und die Vertiefung der gemeinsamen japanisch-deutschen Forschung zu Energiewendestrategien besprochen. Von japanischer Seite wurde das Konzept des japanische Projekts vorgestellt und von deutscher Seite wurden die Szenarioauswahl, der Untersuchungsaufbau sowie die vorläufigen Ergebnisse der Analyse der Dekarbonisierungsstrategien präsentiert und im Anschluss mit den Partnern diskutiert.

Juli 2017

Austausch mit verschiedenen japanischen Akteuren während der Japanreise von Prof. Dr. Stefan Lechtenböhmer.

- Austausch mit den mit den japanischen Kollegen vom National Institute for Environmental Studies (NIES) und vom Institute for Global Environmental Strategies (IGES) im Rahmen der Teilnahme am International Forum for Sustainable Asia and the Pacific.
- Treffen und Austausch mit Kollegen vom Japan The Institute of Energy Economics, Japan (IEEJ), um mehr über die Szenariomodellierung von IEEJ zu lernen und gleichzeitig auch die Arbeit des Wuppertal Institutes im Bereich Szenarioanalyse vorzustellen. IEEJ veröffentlicht jedes Jahr den Asia/World Energy Outlook, in dem verschieden Energieszenarien modelliert werden.
- Treffen und Austausch mit dem Szenarioteam des WWF Japan und des Research Institute for Systems Technology, welche die 2017 erschienene Szenariostudie „Long-term scenarios for decarbonizing Japan“ erstellt haben.

September 2017

Austausch zum Projektstand zwischen den japanischen und deutschen Projektteams des National Institute for Environmental Studies (NIES), Institute for Global Environmental Strategies (IGES) und dem Wuppertal Institut in Warwick, England.

November 2017

Treffen und Austausch zwischen japanischen und deutschen Projektpartnern während der Internationalen Konferenz „Deep decarbonisation of materials processing industries“ organisiert vom Land Nordrhein-Westfalen, dem Wuppertal Institut und der EnergieAgentur.NRW als side event im Rahmen der UN-Klimakonferenz COP23 am 10. November 2017 in Bonn.

November 2017

Austausch mit verschiedenen japanischen Akteuren während der Japanreise von Sacha Samadi.

- Arbeitsreffen mit den japanischen Kollegen vom National Institute for Environmental Studies (NIES) und vom Institute for Global Environmental Strategies (IGES) zu den laufenden Projekten und potentiellen Themen für den Ausbau und die Vertiefung der gemeinsamen japanisch-deutschen Forschung zu Dekarbonisierungsstrategien.
- Treffen und Austausch mit Ken Oshiro vom Mizuho Information & Research Institute, Inc., der an verschiedenen AIM-Szenariomodellierungen mitarbeitet, unter anderem beim MILES (Modelling and Informing Low Emissions Strategies) Project und für das Deep Decarbonization Pathways Projekt (DDPP).

- Kommunikation mit Dr. Shuzo Nishioka vom Institute for Global Environmental Strategies (IGES) zur Rolle von Bürgern, Stadtverwaltungen und Bundesländern in der deutschen Energiewende und Dekarbonisierung von Industriegebieten (z. B. Häfen).

Februar 2018

Gemeinsamer halbtägiger Workshop mit den japanischen Kollegen vom National Institute for Environmental Studies (NIES) und vom Institute for Global Environmental Strategies (IGES) am 8. Februar 2018 in Wuppertal. Inhaltlich wurden in diesem Workshop über die gerade beendeten Projekte und insbesondere über potentielle Themen für die weitere gemeinsame japanisch-deutsche Forschung zu Energiewendestrategien in den kommenden ein bis zwei Jahren gesprochen. Es wurde beschlossen, das Thema der Dekarbonisierung der Industrie (insbesondere der energieintensiven Industrie) in den Mittelpunkt der kommenden Forschungsaktivitäten zu rücken. Die japanischen Kollegen hatten kurz vor dem Treffen die Zusage vom japanischen Umweltministerium (MOEJ) erhalten, ihre Aktivitäten im Austausch mit Deutschland (wie auch mit Frankreich) im Fiskaljahr 2018 (ab April 2018) fortsetzen zu können. Verabredet wurde zudem ein nächster Workshop im Sommer 2018 in Japan im Rahmen des dann stattfindenden LCS-RNet-Treffens und der parallel terminierten ISAP 2018-Konferenz.

6 Diskussion und Ausblick

Nach den G7-Beschlüssen von Elmau aus dem Sommer 2015 und dem Klimaabkommen von Paris von Ende 2015 ist das Thema der langfristigen Dekarbonisierung der Energiesysteme insbesondere in den Industrieländern in den Vordergrund der politischen und wissenschaftlichen Diskussion gerückt. Die Zielsetzungen von Paris, die Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C gegenüber vorindustrieller Zeit zu halten und Anstrengungen zu unternehmen den Temperaturanstieg möglichst auf 1,5 °C zu begrenzen, machen schnelle und substanzielle Reduzierungen der globalen Treibhausgasemissionen erforderlich. Dazu bedarf es einer weitgehenden Dekarbonisierung der nationalen Energiesysteme und Ökonomien insgesamt. Diese langfristigen strukturellen Veränderungen können sowohl Herausforderungen als auch Chancen in Bezug auf technische und wirtschaftliche Entwicklung beinhalten, aber auch in Bezug auf notwendige soziale und institutionelle Veränderungen. Die Herausforderungen werden nicht alleine auf nationalstaatlicher Ebene zu bewältigen sein, sondern werden verstärkte bilaterale und internationale Kooperationen notwendig machen. Japan und Deutschland stehen als führende Industrienationen vor ähnlichen Herausforderungen, gleichzeitig können sich aber auch für beide Länder wirtschaftliche Entwicklungschancen aus der Dekarbonisierung ergeben. Aus diesem Grund bietet sich eine verstärkte Kooperation und die Initiierung gegenseitiger Lernprozesse besonders an. Die vorliegende Studie und der begleitende japanisch-deutsche Forschungsaustausch stellt mit der Diskussion von langfristigen Dekarbonisierungsstrategien in beiden Ländern einen ersten Schritt in diese Richtung dar.

Die quantitative Analyse hat gezeigt, dass die Untersuchungsschwerpunkte der Szenarien – sowohl für Deutschland als auch für Japan – vielfach auf den THG-Emissionen des Energiesystems liegen. Die THG-Emissionen anderer Sektoren werden seltener und wenn, dann oft in geringerer Detailtiefe berücksichtigt. Außerdem ist bei der Analyse deutlich geworden, dass für Deutschland deutlich mehr ambitionierte und langfristige Szenarioarbeiten existieren, während viele japanische Szenarien nur auf den mittelfristigen Zeitraum bis 2030 fokussiert sind. Zudem fällt auf, dass die Spannbreite der japanischen Dekarbonisierungsszenarien bezüglich der verfolgten Klimaschutzstrategien deutlich weiter ausfällt als es für die deutschen Szenarien der Fall ist. Neben den ausgewählten Szenarien mit sehr ambitionierten THG-Minderungszielen existieren in Japan auch konservativere Szenarien, die eine weniger ambitionierte Zielsetzung bei der Reduktion der Treibhausgasemissionen verfolgen und/oder eine ausgeprägte und langfristige Nutzung der Atomenergie vorsehen. Das lässt darauf schließen, dass – bei Annahme einer gewissen Repräsentativität der vorliegenden Szenariostudien für die gesellschaftliche Diskussion zum Thema – in Japan der Konsens in Bezug auf das mittel- bis langfristige Klimaschutz-Ambitionsniveau sowie in Bezug auf die einzelnen Strategien zur Dekarbonisierung bisher weniger ausgeprägt ist als es in Deutschland der Fall zu sein scheint.

Der Vergleich von ambitionierten Dekarbonisierungsszenarien mit THG-Minderungszielen von 80 bis 100 % dagegen zeigt in vielen Bereichen für Japan und Deutschland tendenziell recht ähnliche Entwicklungen und Strategien auf. Es wird deutlich, dass in beiden Ländern erhebliche Änderungen insbesondere im Energiesystem notwendig sind, um die anvisierten mittel- und langfristigen THG-

Minderungsziele zu erreichen. Es werden ähnliche Annahmen zu Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftsentwicklung getroffen und es werden vergleichbare Entwicklungstrends bei vielen Ausprägungen des Energiesystems deutlich. So wird in allen analysierten Szenarien für Japan und Deutschland die Kohlenutzung reduziert und spätestens langfristig auf Atomenergie zur Stromerzeugung verzichtet. Gleichzeitig bleiben Erdöl und vor allem Erdgas mittelfristig noch wichtige Energieträger. Zudem werden erneuerbare Energien in allen Szenarien kontinuierlich ausgebaut, während gleichzeitig die Endenergieeffizienz verbessert wird. Unterschiede zwischen den deutschen und japanischen Szenarien sowie zwischen den Szenarien der einzelnen Länder bestehen hingegen vor allem in Bezug auf Geschwindigkeit, Umfang und die Zusammensetzung der Strategieelemente.

Die folgende Tabelle liefert einen Überblick über die unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen in den analysierten Szenarien bezüglich der jeweils verfolgten Klimaschutzstrategien im Energiesystem. Sie verdeutlicht unter anderem, dass alle Szenarien weitgehende Energieeffizienzverbesserungen, eine starke Elektrifizierung der Endenergiesektoren sowie einen deutlichen Ausbau der erneuerbaren Energien beschreiben. Landesunabhängige Unterschiede zwischen den Szenarien betreffen unter anderem die zukünftige Rolle, die Verhaltensänderungen bei der Minderung der Treibhausgasemissionen spielen sowie die Frage, ob CCS-Technologien zukünftig eingesetzt werden. Ein auffälliger Unterschied zwischen den Japan-Szenarien auf der einen Seite und den Deutschland-Szenarien auf der anderen Seite ist die Tatsache, dass in allen analysierten Deutschland-Szenarien Importe emissionsfreier Energieträger angenommen werden – wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß und unterschiedlicher Form – während entsprechende Importe in allen untersuchten Japan-Szenarien keine Rolle spielen.

Während die Forschungsergebnisse aus der Analyse langfristiger Dekarbonisierungsszenarien für Deutschland und Japan also grundsätzliche Gemeinsamkeiten und Unterschiede in den Dekarbonisierungsstrategien aufzeigen, wird ebenfalls deutlich, dass weitere und detailliertere Untersuchungen erforderlich sind, um fundierte Aussagen zu konkreten Problemstellungen treffen zu können und damit die bessere Nutzung von Chancen und Vermeidung von Risiken von Dekarbonisierungsstrategien sicherzustellen. Dabei sollten der intensive Austausch sowohl zwischen Wissenschaftlern als auch zwischen verschiedenen Stakeholdern beider Länder im Mittelpunkt stehen. Entsprechend werden im nachfolgenden Abschnitt konkret Forschungsempfehlungen für den Ausbau und die Vertiefung der gemeinsamen japanisch-deutschen Forschung zu Dekarbonisierungsstrategien aufgeführt.

Tab. 6-1 Übersicht Dekarbonisierungsstrategien japanische und deutsche Szenarien

	Deutschland-Szenarien					Japan-Szenarien				
	ZS	KS 80	K17 M	KS 95	THG ND	Bridge	Low-nuclear	AE[R]	100% RE	1.5deg_NUCPO
Energiebedingte CO ₂ -Reduktion 2050 (vs. 1990) →	-80 %	-85 %	-96 %	-96 %	-100 %	-82 %	-83 %	-87 %	-100 %	-100 %
Nachfrageseite										
Energieeffizienzverbesserungen	++	++	++	+++	++	++	+++	++	+++	+++
Verhaltensänderungen	O	+	+	++	+	+	O	+	+	O
Direkte Elektrifizierung										
▪ Direkte Elektrifizierung	+	++	++	+++	++	+	+++	+++	+	+++
▪ Indirekte Elektrifizierung (z. B. H ₂)	O	O	++	+	+++	++	+	+	+++	+
Angebotsseite										
Nutzung emissionsfreier Energieträger										
▪ Erneuerbare für Stromerzeugung	++	++	+++	++	++	++	++	++	+++	+++
▪ Erneuerbare für Verkehr & Wärme	+++	++	+++	++	+	++	+	+++	++	O
▪ Atomenergie	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
Import emissionsfreier Energieträger										
▪ Biomasse	++	O	O	O	O	O	O	O	O	O
▪ Strom	+	++	+++	+	+++	O	O	O	O	O
▪ H ₂ / synth. Energieträger	O	O	O	+	+++	O	O	O	O	O
Nutzung von CCS/CCU										
▪ Bei der Stromerzeugung	O	O	O	O	O	O	++	O	O	+++
▪ Bei Industrieanlagen	O	O	O	++	O	O	++	O	O	++

7 Forschungsempfehlungen

Im Rahmen des Forschungsprojekts und durch den Austauschprozesses mit den japanischen Wissenschaftlern konnten potentielle Themenfelder für den Ausbau und die Vertiefung der gemeinsamen japanisch-deutschen Forschung zu Dekarbonisierungsstrategien identifiziert werden. Erste potenzielle Themenfelder, die sich aus dem laufendem Forschungsprojekt und der gemeinsamen Diskussion ergeben haben werden im folgendem kurz dargestellt.

■ **Gemeinsame Forschung und Interaktion mit japanischen Wissenschaftlern für ein besseres Verständnis langfristiger Dekarbonisierungspfade**

Basierend auf den bisherigen Analysen zu den Dekarbonisierungsstrategien und dem Austausch mit japanischen und deutschen Partnern und Experten sollte in einem organisiertem Prozess ein gemeinsames Verständnis über einen Strategiekanon zur langfristigen Dekarbonisierung entwickelt werden. Zudem besteht Bedarf die den Szenarien zugrunde liegenden Annahmen zur Technologieentwicklung detaillierter zu untersuchen und gemeinsame Strategie- und Technologieelemente von Klimaschutzszenarien zu skizzieren. Außerdem sollten die unterschiedlichen marktwirtschaftlichen, politischen, technischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen (z. B. unterschiedliche natürliche REG-Potenziale oder unterschiedliche gesellschaftliche Präferenzen) zur Umsetzung der Dekarbonisierungsstrategien in Japan und Deutschland genauer betrachtet und in die Analyse mit einbezogen werden. Konkret könnte z. B. in Anbetracht der starken Kostensenkungen von Fotovoltaik-Modulen und Batterien in den letzten Jahren das „System-Potenzial“ von Fotovoltaik untersucht werden, d. h. das sinnvollerweise maximal nutzbare Potenzial der Fotovoltaik unter verschiedenen Annahmen zur Ausgestaltungen des Energiesystems. Ebenfalls bedeutsam scheint eine genauere Untersuchung des Potenzials von Offshore-Windenergie zu sein. In Anbetracht der zuletzt starken bzw. zumindest von der Industrie erwarteten Kostensenkungen der Offshore-Windenergie und den Forschungsbemühungen in Richtung der „Floating“-Technologie scheint es denkbar, dass derzeitige Energieszenarien die Potenziale dieser Technologie insbesondere für Japan unterschätzen. Auch eine nähere Untersuchung über sinnvolle Zusammensetzungen des Endenergiebedarfs in Hinblick auf den Mix zwischen Strom auf der einen Seite und Wasserstoff/synthetischen Kraftstoffen auf der anderen Seite erscheint in Anbetracht der unterschiedlichen Vorstellungen in den analysierten Szenarien angebracht. Ähnliches gilt für die Frage nach der Notwendigkeit des großskaligen Imports von Strom und/oder Wasserstoff bzw. synthetischen Kraftstoffen. Falls ein solcher großskaliger Import notwendig sein sollte, stellt sich die Frage, aus welchen Ländern bzw. Regionen diese Importe in Zukunft stammen könnten. In Bezug auf potenzielle Importregionen könnten auch Potenziale einer zukünftigen Zusammenarbeit zwischen Japan und Deutschland untersucht werden.

■ **Zusammenfassung und Analyse der Erfahrungen mit Stakeholder-Prozessen aus Deutschland und Nutzbarmachung der Erkenntnisse für Japan (unter Berücksichtigung der kulturellen Unterschiede)**

Im Bereich der partizipativen Strategie- und Szenarioentwicklung existieren in Deutschland bereits vielfältige Erfahrungen. Die Prozesse beispielsweise bei der Erstellung der Klimaschutzpläne für NRW, für Baden-Württemberg und für die Bundesregierung sowie ähnlicher Prozesse für Städte sollten genauer analysiert und die Prozess Erfahrung für die japanischen und andere internationale Partner nutzbar gemacht werden.

■ **Gemeinsame japanisch-deutsche Forschung zu langfristigen Dekarbonisierungsstrategien in der (energieintensiven) Industrie**

Rund ein Drittel des weltweiten Endenergieverbrauchs entfällt auf die Industrie. Entsprechend relevant für das Ziel der langfristigen Dekarbonisierung sind Reduzierungen beim Energieverbrauch und bei den Treibhausgasemissionen im Industriesektor, insbesondere in der energieintensiven Prozess- bzw. Grundstoffindustrie. Dies gilt speziell für Japan und Deutschland, die beide über traditionell starke und vielfach technologisch führende Grundstoffindustrien verfügen. Wie die vorliegende Arbeit gezeigt hat, wird jedoch in bestehenden Szenarien (v. a. in Szenarien für Japan) die Dekarbonisierung der Industrie nur relativ oberflächlich diskutiert. Entsprechend besteht ein hohes Potential für Forschungs Kooperationen, um bestehen Synergien, Risiken und gemeinsame Interessen für Technologienentwicklungen in Japan und Deutschland zu identifizieren. Grundsätzlich besteht in den analysierten Szenariostudien derzeit noch eine große Unsicherheit über die genaue „Richtung“ der Dekarbonisierung im Industriesektor. So gibt es auf der einen Seite eher strukturkonservative Vorstellungen, die auf starke Effizienzsteigerungen, sowie Brennstoffwechsel und ggf. CCS als Ergänzung setzen, und auf der anderen Seite disruptivere Szenarien, die den breiten Einsatz von „Breakthrough“-Technologien – die im Regelfall mit einer direkten oder indirekten Elektrifizierung auch energieintensiver Prozesse verbunden sind – vorsehen, oft in Kombination mit Elementen einer Kreislaufwirtschaft. Neben diesen Aspekten sollte auch die Rolle der Digitalisierung in der Industrie für die langfristige Dekarbonisierung genauer analysiert werden. Zusätzlich sollten „Best-Practice“ Beispiele identifiziert werden mit deren Hilfe Erfolgsfaktoren und Hindernisse für die Umsetzung von Dekarbonisierungsmaßnahmen bestimmt werden können. Möglicherweise gibt es mittelfristig auch Potenziale für „mutual learning“ in Hinblick auf die erfolgreiche Aktivierung von Vorbild-Industrieregionen (z. B. Hafen Rotterdam, NRW, Kawasaki).

■ **Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung/Society 5.0 in Bezug zur langfristigen Dekarbonisierung**

Im Bereich der Digitalisierung und Schritten in Richtung der sogenannten „Society 5.0“ hat Japan eine Vorreiterrolle. Die japanische Regierung unterstützt diese Entwicklung mit kontinuierlichen und ambitioniert ausgerichteten Förderprogrammen. Entsprechend wären Analysen der bisherigen Erfahrungen in Japan

und die potentiellen Nutzbarmachung für Deutschland von Interesse. Außerdem erscheinen Untersuchung zu den Chancen und Herausforderungen der Digitalisierung/Society 5.0 für die langfristige Dekarbonisierung in beiden Ländern sinnvoll.

■ **Analyse der Rolle von sozio-ökonomischen Faktoren sowie Verhaltens- und Lebensstiländerungen für die langfristige Dekarbonisierung**

Hier ergibt sich Bedarf von Japan in Bezug auf die Erfolge bei Stromeinsparungen unter anderem durch Verhaltensänderungen (nicht zuletzt in den Jahren nach der Fukushima-Katastrophe) zu lernen. Zudem bedarf es Untersuchungen zur Fragestellung, wie sich die Überalterung in beiden Ländern in Zukunft auf die konsumbasierten Treibhausgasemissionen auswirkt und wie Strategien zu Dekarbonisierung unter Berücksichtigung der demografischen Entwicklungen aussehen können.

8 Literaturverzeichnis

- Akimoto, K., Tehrani, B. S., Sano, F., Oda, J., Masui, M. K. T., & MHIR, K. O. (2015): MILES (Modelling and Informing Low Emissions Strategies) Project-Japan Policy Paper.
http://www.iddri.org/Publications/Collections/Analyses/MILES_Japan%20Policy%20Paper.pdf.
- Ashina, S., Fujino, J., Masui, T., Ehara, T., & Hibino, G. (2012): A roadmap towards a low-carbon society in Japan using backcasting methodology: feasible pathways for achieving an 80% reduction in CO₂ emissions by 2050. *Energy Policy*, 41, 584-598.
- BNEF – Bloomberg New Energy Finance (2015): Japan's likely 2030 energy mix: more gas and solar.
<https://about.bnef.com/blog/japans-likely-2030-energy-mix-gas-solar/>.
- BUND - Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e. V. (2015): Grundlagen und Konzepte einer Energiewende 2050.
- Bündnis 90/Die Grünen Bundestagsfraktion (2015): Die neue Stromwelt: Szenario eines 100% erneuerbaren Stromversorgungssystems. https://www.gruene-bundestag.de/uploads/tx_ttproducts/datasheet/18-28-Die_neue_Stromwelt-ONLINE.pdf.
- Esteban, M., & Portugal-Pereira, J. (2014). Post-disaster resilience of a 100% renewable energy system in Japan. *Energy*, 68, 756-764.
- Greenpeace (2015): Klimaschutz: Plan B 2050. Energiekonzept für Deutschland (Kurzfassung).
http://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/Screen_E_studie_energiekonzept_final_O RC.indd_0.pdf
- Greenpeace International, European Renewable Energy Council (EREC) (2011): The advanced energy [r]evolution – A Sustainable Energy Outlook for Japan.
http://www.greenpeace.org/japan/Global/japan/pdf/er_report.pdf
- Gerhardt, N., Sandau, F., Zimmermann, B., Pape, C., Bofinger, S., & Hoffmann, C. (2014). Geschäftsmodell Energiewende: Eine Antwort auf das "Die-Kosten-der-Energiewende"-Argument. Kassel, Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik.
- Henning, H. M., & Palzer, A. (2015). Was kostet die Energiewende? Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050. Fraunhofer ISE, 89.
- Hughes, L. (2016): Japan: Dominated by Fukushima and Tackling Hard Problems in Decarbonisation. - In: Sustainable Energy in the G20: Prospects for a Global Energy Transition, (IASS Study ; December 2016), Potsdam : Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS), p. 70-75.
- IEA GHG Programme (2009): Assessment of Sub Sea Ecosystem Impacts.
<http://hub.globalccsinstitute.com/sites/default/files/publications/95761/assessment-sub-sea-ecosystem-impacts.pdf>
- IEA/OECD (2016): World Energy Outlook 2016. International Energy Agency. Paris.
- IEA/OECD (2012): World Energy Outlook 2012. International Energy Agency. Paris.
- IEEJ - The Institute of Energy Economics, Japan (2016): Asia/World Energy Outlook 2016. enen.iecej.or.jp/data/7007.pdf
- IEEJ - The Institute of Energy Economics, Japan (2015): Toward Choosing Energy Mix
<https://enen.iecej.or.jp/data/5886.pdf>
- Kainuma, M., Oshiro, K., Hibino, G., & Masui, T. (2015). Pathway to deep decarbonization. SDSN and IDD-RI. http://deepdecarbonization.org/wp-content/uploads/2015/09/DDPP_JPN.pdf.
- Knorr, K. et al. (2014). Kombikraftwerk 2. Abschlussbericht. Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) Kassel.
- Komiyama, R., & Fujii, Y. (2015). Analysis of Japan's Long-Term Energy Outlook Considering Massive Deployment of Variable Renewable Energy under Nuclear Energy Scenario. *Electrical Engineering in Japan*, 190(2), 24-40.
- METI - Ministry of Economy, Trade and Industry (2015). Long-term Energy Supply Demand Outlook.
http://www.meti.go.jp/english/press/2015/pdf/0716_01a.pdf
- MOE – Ministry of Environment (2016): Japan's National Greenhouse Gas Emissions in Fiscal Year 2015.
<https://www.env.go.jp/press/files/en/702.pdf>
- Nitsch, J. (2017). Erfolgreiche Energiewende nur mit verbesserter Energieeffizienz und einem klimagerechten Energiemarkt – Aktuelle Szenarien 2017 der deutschen Energieversorgung. Stuttgart.
- Nitsch, J. (2016): Die Energiewende nach COP 21–Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung. Kurzstudie für den Bundesverband Erneuerbare Energien e.V https://www.bee-ev.de/fileadmin/Publikationen/Studien/Joachim_Nitsch_Energiewende_nach_COP21.pdf.
- Nitsch, J., Pregger, T., Naegler, T., Heide, D., Luca de Tena, D., Trieb, F., & Trost, T. (2012). Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung

- der Entwicklung in Europa und global. http://www.dlr.de/tt/desktopdefault.aspx/tabid-2885/4422_read-15254/.
- OECD (2017): OECD. Stat. Greenhouse gas emissions. https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=AIR_GHG. (10.02.2017)
- Oshiro, K., Masui, T., & Kainuma, M. (2017a). Transformation of Japan's energy system to attain net-zero emission by 2050. Carbon Management, 1-9.
- Oshiro, K., Kainuma, M., & Masui, T. (2017b). Implications of Japan's 2030 target for long-term low emission pathways. Energy Policy, 110, 581-587.
- Park, N. B., Lee, S., Han, J. Y., & Jeon, E. C. (2014). Feasibility Analysis of Alternative Electricity Systems by 2030 in the Post-Fukushima Era. Asian Journal of Atmospheric Environment, 8(1), 59-68.
- Pereira, J. P., Parady, G. T., & Dominguez, B. C. (2014). Japan's energy conundrum: Post-Fukushima scenarios from a life cycle perspective. Energy Policy, 67, 104-115.
- Repenning, J., Matthes, F. C., Blank, R., Emele, L., Döring, U., & Förster, H. (2015). Klimaschutzszenario 2050. 2. Modellierungsrunde. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Hg. v. Öko-Institut e. V. Berlin.
- Samadi, S.; Terrapon-Pfaff, J.; Lechtenböhrer, S. Knopp, K. (2017 under review): Long-term low greenhouse gas emission development strategies for achieving the 1.5 °C target – Insights from a comparison of German bottom-up energy scenarios.
- Schlesinger, M., Hofer, P., Kemmler, A., Kirchner, A., Koziel, S., Ley, A., & Ulrich, P. (2014). Entwicklung der Energiemärkte–Energierferenzprognose. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Basel.
- Schlesinger, M., et al. (2011): Energieszenarien 2011. Study on Behalf of the German Ministry for Economy and Technology.
- SRU - Sachverständigenrat für Umweltfragen (2011). Wege zur 100% erneuerbaren Stromversorgung. Sondergutachten des SRU vom, 26(1), 2011.
- Takase, K., & Suzuki, T. (2011). The Japanese energy sector: current situation, and future paths. Energy Policy, 39(11), 6731-6744.
- UBA – Umweltbundesamt (2016): Emissionen der sechs im Kyoto-Protokoll genannten Treibhausgase in Deutschland nach Kategorien in Tsd. t Kohlendioxid-Äquivalenten. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/dokumente/pi-2013-05_anlage_treibhausgasemissionen.pdf
- UBA – Umweltbundesamt (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland 2050. Reihe Climate Change 07/2014.
- UBA – Umweltbundesamt (2013): Politiksszenarien für den Klimaschutz VI–Treibhausgas-Emissionsszenarien bis zum Jahr 2030: Advances in Systems Analysis Reihe Climate Change 6/2013.
- WWF (2017): Long-term scenarios for decarbonizing Japan. Exectutive Summary. WWF Japan. http://www.wwf.or.jp/activities/uploads/170302ExecutiveSummary_ENG_Final.pdf.
- Zhang, Q., Ishihara, K. N., McLellan, B. C., & Tezuka, T. (2012). Scenario analysis on future electricity supply and demand in Japan. Energy, 38(1), 376-385.